06
25

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 34

Дніпропетровськ
2010

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 34

Дніпропетровськ
2010

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 30.06.2010 р., протокол № 11

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *О. М. Пшінько*;
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*, *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 *М. М. Біляєв*, *С. І. Нейковський*, *О. В. Фєдін*; доктор біологічних наук *А. С. Дворецький*; доктори економічних наук *Ю. С. Бараш*, *С. В. Каламбет*, *В. І. Копитко*, *В. Д. Крамаренко*, *А. А. Покотілов*

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 34. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 288 с.
В 53
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.

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, оригінал-макет, 2010

ISSN 1993-9175

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

Е. П. БЛОХИН, Н. Я. ГАРКАВИ, К. И. ЖЕЛЕЗНОВ, Л. В. УРСУЛЯК (ДИИТ), Я. Н. РОМАНЮК (ПКТБ АСУ УЗ)
ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НАЛИВНЫХ ПОЕЗДОВ 6

О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, С. В. МЯМЛІН, Є. О. ПИСЬМЕННИЙ, І. Є. СКОГАРЕВ (ДІІТ), Д. В. ГОРОБЕЦЬ (ІТМ НАНУ ТА НКАУ, Дніпропетровськ)
ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У НАПІВОБРОБЛЕНИХ ОСЯХ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ 16

М. Л. КОРОТЕНКО, Р. Б. ГРАНОВСКИЙ, С. А. КОСТРИЦА, А. В. СУЛТАН, В. В. ГЛУХОВ, И. В. КЛИМЕНКО, Н. Я. ГАРКАВИ, Е. Ф. ФЕДОРОВ, В. В. КАРПЕНКО (ДИИТ)
ПРИМЕРЫ КАЗУСОВ, ПРОИЗОШЕДШИХ ПРИ ПОСТАНОВКЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКЕ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ 22

О. В. ШАТУНОВ, М. А. ГРІЧАНИЙ, П. О. ЯГОДА, В. Ю. ПІДЛУБНИЙ, О. А. АНДРЕЄВ (ДІІТ)
ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕГЛЯДУ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦИСТЕРН МОДЕЛІ 15-440 ТА 15-1597 29

РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

В. В. АРТЕМЧУК (ДІІТ)
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ 32

С. В. ДОРОШКО (БелГУТ, Гомель, Беларусь)
АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ 39

Д. Н. КОЗАЧЕНКО (ДИИТ)
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГОРКАХ 46

В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ДЕПО И ПУТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ 51

А. Л. ПУЛАРИЯ (ДИИТ), М. Е. СЕРДЮК (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ 61

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

А. М. АФАНАСОВ (ДИИТ)
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПОСОБА КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ ПРИ ИХ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКЕ 65

Л. В. ДУБИНЕЦЬ, О. О. КАРЗОВА, Ю. С. БОНДАРЕНКО (ДІІТ)
ШВИДКІСТЬ ЗМІНИ СТРУМУ ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ В СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ З УРАХУВАННЯМ ВИХРОВИХ СТРУМІВ 69

Н. А. КОСТИН (ДИИТ)
РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ В УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ 73

А. В. ПЕТРОВ (ДІІТ)
МЕТОДИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИПАДКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ ТА СТРУМУ ФІДЕРА ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 77

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ), С. А. ЛЫКОВА (Сибирское отделение ВНИИЖТ, Иркутск, Российская Федерация), А. А. МАМИТКО (Иркутскжелдорпроект, Российская Федерация)
ИЗМЕНЕНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА ВДОЛЬ КРИВОЙ 81

Д. М. КУРГАН, М. А. ЗАЯЦ (ДІІТ)
ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ 88

М. Б. КУРГАН, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА, М. М. ЧЕРНЯКОВ (ДІІТ)
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗМЕЖУВАННІ ВАНТАЖНОГО Й ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ 94

К. В. МОЙСЕЄНКО, В. П. ГНАТЕНКО (ДІІТ)
РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНОГО ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р65 МАРКИ 1/11 ПРОЕКТУ Дн 300 103

В. В. РИБКІН, К. Л. КАЛЕНИК (ДІІТ)
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДСТУПІВ ЗА ШИРИНОЮ КОЛІЇ ТА ЗА НАПРЯМКОМ У ПЛАНІ В МЕЖАХ БОКОВОГО НАПРЯМКУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА ВПЛИВУ НА КОЛІЮ 116

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

В. Е. АРТЕМОВ (ДИИТ)
ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА К ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ 123

П. В. БЕЗДІТКО, А. В. КРАСНЮК, А. Д. МАЛИЙ, Н. П. БОЧАРОВА (ДІІТ)
КОМП'ЮТЕРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ПРАВИЛЬНИХ МНОГОГРАННИКІВ (ТІЛ ПЛАТОНА) В СИСТЕМІ AutoCAD. ТЕТРАЕДР 127

В. Д. ПЕТРЕНКО, В. Т. ГУЗЧЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН, А. М. М. АЛХДУР (ДИИТ)
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АРМИРОВАНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЕМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 131

А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ)
ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ И АВТОМАТОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ 136

О. С. РАСПОПОВ (ДІІТ)
БАГАТОВИМІРНІ МАТРИЦІ В ЗАДАЧАХ ДИНАМІКИ ПРОСТОРОВИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ 142

Б. В. САВЧИНСКИЙ (ДИИТ)
УСИЛЕНИЕ АВТОДОРОЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ 147

Т. В. УЛЬЧЕНКО (ДИИТ), Ю. Г. БЕРЕГИЙ (ПГАСА, Днепропетровск), Б. Г. КЛОЧКО (ДИИТ)
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РЕМОНТЕ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ 150

Ф. В. ЯЦКО (НАУ, Київ)
ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗАХИСНОГО ШАРУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ 154

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ (ДИИТ)
РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ АВАРИЯХ С ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА БАЗЕ КОДА AIR-3 159

Н. Н. БЕЛЯЕВ, П. Б. МАШИХИНА (ДИИТ)
К РАСЧЕТУ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ 165

И. В. ЖИТЧЕНКО, В. О. ПЕТРЕНКО, С. З. ПОЛИЩУК, А. О. ПЕТРЕНКО (ПГАСА, Днепропетровск)
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА КОМПЬЮТЕРНЫХ КЛАССОВ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА 170

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

С. Ю. БУРЯК (ДІІТ)
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА 172

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

А. А. БОСОВ, К. В. ЕЛИСЕЕНКО (ДІІТ)
ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕРЫ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ 176

А. А. БОСОВ, Ю. В. ЧИБИСОВ (ДІІТ)
ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ РУХУ ПОЇЗДІВ НА МЕРЕЖІ ДОРІГ 180

Т. Ф. МИХАЙЛОВА, М. С. КАРАВАЄВА (ДІІТ)
РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗШИРЕННЯ ВИРОБНИЦТВА 189

О. А. НАЗАРОВ (ДІІТ)
ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВАГОНІВ
НА СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЯХ 193

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Т. Е. ДОРОГАНЬ (ДИИТ)
АНАЛИЗ СОСТАВА НЕРАВНОВЕСНЫХ ФАЗ В БИНАРНЫХ СПЛАВАХ МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА
НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МЕЖАТОМНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОМПОНЕНТОВ 199

Л. А. МУРАДЯН, В. Г. АНОФРИЕВ (ДИИТ)
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И АНАЛИЗ ПРИЧИН
СОКРАЩЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС 206

А. Е. ОСТРОВСКАЯ, И. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запорожье)
ВЛИЯНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЮ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 211

О. Л. СКУЙБІДА, І. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запоріжжя)
ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННОГО СИЛУМІНУ АК5М2 215

Е. В. СУХОВАЯ, Ю. В. СЫРОВАТКО (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)
ВЛИЯНИЕ ФОСФОРА И МОЛИБДЕНА НА МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКУ ФОРМИРОВАНИЯ
ГРАНИЦ РАЗДЕЛА В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ СО СВЯЗКОЙ Fe-B-C 219

Н. Ю. ФІЛОНЕНКО (ДДМА, Дніпропетровськ), О. Ю. БЕРЕЗА (ДДАУ, Дніпропетровськ)
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДІНАМІЧНИХ ФУНКЦІЙ БОРИДУ ЗАЛІЗА 225

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

И. М. АКСЁНОВ (ГЭТУТ, Киев)
УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМИ РЕСУРСАМИ ПАССАЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ 228

Р. Т. БАРАН (ДП «Міжнародний аеропорт «Львів»)
ЕКОНОМІЧНІ ПІДХОДИ ДО МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ
ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ) 232

Ю. С. БАРАШ, Н. О. ГАЙДУК, Х. В. ДРЕБОТ (ДІІТ)
ПРОБЛЕМИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖДЕРЖАВНОМУ СПОЛУЧЕННІ 242

Ю. С. БАРАШ (ДІІТ)
РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В КРАЇНАХ КОЛИШНЬОГО СРСР 250

Н. І. ВЕРХОГЛЯДОВА, Д. Л. ЛЕВЧИНСЬКИЙ (ПДАБА, Дніпропетровськ)
ПРИНЦИПИ І ПОРЯДОК ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ
З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕРИТОРІЙ 259

В. О. ГНЕУШЕВА (Класичний приватний університет, Запоріжжя)
ДОМОГОСПОДАРСТВО ЯК СУБ'ЄКТ ФІНАНСОВИХ ВІДНОСИН 266

Д. О. ДИЛ (ДІІТ)
КОМЕРЦІЙНИЙ БАНК ЯК МЕРЕЖНЕ ПІДПРИЄМСТВО 270

О. В. ЛЕПЬОХІНА (Херсонський національний технічний університет)
УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ
ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 276

Ю. Т. ТРУШ, Г. О. КОРОЛЬ, М. В. КУЦИНСЬКА (НМетАУ, Дніпропетровськ)
ЗНОС ТА АМОРТИЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ У БЮДЖЕТНИХ УСТАНОВАХ
І НА КОМЕРЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ 283

УДК 629.4.028.86

Е. П. БЛОХИН, Н. Я. ГАРКАВИ, К. И. ЖЕЛЕЗНОВ, Л. В. УРСУЛЯК (ДИИТ),
Я. Н. РОМАНЮК (ПКТБ АСУ УЗ)

ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НАЛИВНЫХ ПОЕЗДОВ

Надано опис можливостей розробленого обчислювального комплексу та його використання для розв'язання задач безпеки і стійкості руху.

Дано описание возможностей разработанного вычислительного комплекса и его использования для решения задач безопасности и устойчивости движения.

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

Как известно, вождение наливных неоднородных поездов, особенно увеличенной длины, как правило, всегда связано с определенными трудностями. Поэтому в научно-исследовательской отраслевой лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа разработан вычислительный комплекс, с помощью которого можно решать ряд задач, связанных с безопасностью движения, формированием поездов и рекомендациями по их вождению

Использование методов объектно-ориентированного программирования и современной вычислительной техники позволяет решать задачу о колебаниях локомотивов и вагонов, в том числе вагонов-цистерн, находящихся в составе поезда, движущегося по имеющему неровности железнодорожному пути, криволинейному в плане и профиле. В обычном поезде эти колебания происходят под действием продольных сил, вызываемых управляющими воздействиями, а также сил от продольного профиля пути и его криволинейности в плане. В «наливном» поезде эти колебания происходят еще под действием жидкости, перемещающейся в цистерне относительно ее котла.

В большинстве случаев, а при расследовании аварий и крушений всегда, расчеты выполняются для реальных участков пути (продольный профиль и план), реального поезда с учетом всех его параметров (массы и тяговые характеристики локомотивов, характеристики вагонов, силовые характеристики междувагонных соединений, характеристики тормозных систем и т.п.), а также с учетом заданных или задаваемых скоростей движения и режимов управления. Численные значения параметров, характеризующих работу тех или иных тормозных систем, межвагонных соединений и систем управления тягой принимаются нами 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 этом в рассматриваемом поезде могут находиться локомотивы и вагоны разных типов, а сами вагоны могут быть оборудованы поглощающими аппаратами.

Как известно, каждый тип цистерн предназначен для перевозки вполне определённого жидкого груза. Однако часто в цистерне перевозят не соответствующий ей жидкий груз. Это особенно опасно, если удельный вес перевозимой жидкости больше того, для которого предназначена данная цистерна. Примером может служить карбамидо-аммиачная смесь (КАС), которую перевозят в цистернах, предназначенных для перевозки бензина. Удельный вес этой смеси примерно в 1,3 раза больше, чем у бензина, поэтому во избежание перегрузки вагонных осей цистерну заполняют с недоливом.

В случае недолива жидкости происходят ее перемещения в продольном и поперечном (горизонтальном) направлениях. Вызванные возмущениями колебания жидкости описываются дифференциальными уравнениями, имеющими определенную специфику.

В расчетных схемах при моделировании переходных режимов движения поездов, в состав которых входят цистерны с неполным наливом, жидкость обычно представляется одной или тремя подвижными относительно бака цистерны массами и массой неподвижной части жидкости, присоединенной к массе самого котла. Подвижные массы на высоте выше верхней

© Блохин Е. П., Гаркави Н. Я., Железнов К. И., Урсуляк Л. В., Романюк Я. Н., 2010

«кромки» неподвижной массы «сочленены» с баком посредством «пружин».

На железных дорогах массу жидкого груза, перевозимого в цистерне, часто определяют не взвешиванием, как в других типах вагонов, а замерно-калибровочным способом. Для этого измеряют высоту наполнения котла цистерны, учитывают плотность груза, а затем посредством специальных таблиц калибровки, в зависимости от емкости котла и уровня налива [6], определяют объем продукта в ней и подсчитывают массу груза. Однако при изменении температуры жидкого груза могут меняться его характеристики (плотность и вязкость), которые влияют на уровень продольных сил и безопасность движения таких поездов в целом, поэтому, исследуя переходные режимы движения наливных поездов, указанные характеристики можно уточнить, зная массу цистерны по формуле: $\rho = \frac{M_б - M_т}{V}$, где $M_б$ – масса брутто цистерны, $M_т$ – масса тары цистерны, V – объем перевозимой жидкости.

При разработке интерфейса программного комплекса учитывались, описанные выше, особенности натурных листов, содержащих данные о вагонах с жидким грузом. В натурном листе таких поездов указываются калибровочный тип цистерны, наименование груза, масса вагона брутто $M_б$ и либо высота заполнения цистерны (расстояние от нижней образующей котла до свободной поверхности) h, либо недолив $h_н$ (расстояние от свободной поверхности жидкости до верхней внутренней поверхности котла цистерны).

Задача о продольных колебаниях поезда, вагоны которого не содержат подвижных грузов, решается следующим образом. В качестве расчетной схемы используется одномерная цепочка тел (экипажей), соединенных между собой существенно нелинейными деформируемыми элементами, учитывающими наличие зазоров в упряжи. Движение локомотивов или вагонов с неподвижным грузом описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{V}_j = \dfrac{S_j + Fb_j + Wo_j + Wi_j + Ft}{m_j}; \\ \dot{x}_j = V_j, \end{cases} \qquad (1)$$

где S_j – продольная сила, действующая в j-ой связи, Fb_j – тормозная сила, действующая на j-й экипаж, Wo_j – сила основного сопротивления поступательному движению поезда для j-го экипажа, Wi_j – сила сопротивления от профиля пути для j-го экипажа, Ft – сила тяги или сила, вызванная электрическим торможением, x_j, V_j, $\dot{V}_j$ – соответственно пройденный путь, скорость и ускорение j-го экипажа.

Движение вагонов, содержащих подвижные грузы, описывается системой дифференциальных уравнений, имеющих вид:

$$\begin{cases} (M_{тj} + m_{0пj})\ddot{x}_j = \sum F_{пj} + m_{жп\,j}(2h_{жпj}\dot{q}_{пj} + \omega^2_{жпj} q_{пj}); \\ \ddot{q}_{пj} + 2h_{жпj}\,\dot{q}_{пj} + \omega^2_{жпj}\,q_{пj} + \ddot{x}_j = 0, \end{cases} \qquad (2)$$

$$\begin{cases} (M_{тj} + m_{0гj})\ddot{y}_j = \sum F_{гj} + m_{жг\,j}(2h_{жгj}\dot{q}_{гj} + \omega^2_{жгj} \cdot q_{гj}); \\ \ddot{q}_{гj} + 2h_{жгj}\,\dot{q}_{гj} + \omega^2_{жгj}\,q_{гj} + \ddot{y}_j = 0, \end{cases} \qquad (3)$$

где $M_{тj}$ – тара j-го вагона-цистерны, x_j – продольные перемещение центра масс j-ой цистерны относительно земли, y_j – поперечные (поступательные) перемещение центра масс кузова j-ой цистерны относительно земли, $q_{пj}$ и $q_{гj}$ – перемещения, соответствующие 1-му тону колебаний подвижной жидкости относительно центра масс j-ой цистерны в продольном и поперечном направлениях соответственно,

$\sum F_{пj} = S_J + Fb_j + Wo_j + W_{ij}$ – силы, указанные выше, действующие на j-ый вагон в продольном направлении (см. систему (1)), $\sum F_{гj}$ – сумма действующих на кузов j-го вагона поперечных горизонтальных сил: центробежных сил (в кривых), ветровой нагрузки, а также сил со стороны автосцепки и от тележек (перекошенных из-за возвышения наружного рельса).

В уравнениях (2) и (3) составляющие, связанные с колебаниями подвижной части жидкости, содержат следующие гидродинамические коэффициенты:

$\omega^2_{жпj} = \pi \cdot \dfrac{g}{L_п} \cdot \mathrm{th}\left(\dfrac{\pi \cdot h}{L_п}\right)$ – квадрат приведенной круговой частоты 1-го тона колебаний подвижной части жидкости в продольном направлении; здесь g – ускорение свободного падения, h – высота заполнения жидкости в цистерне, $L_п$ – приведенная длина бака цистерны, которая зависит от типа цистерны;

$\omega^2_{жгj} = \pi \cdot \dfrac{g}{L_г} \cdot \mathrm{th}\left(\dfrac{\pi \cdot h}{L_г}\right)$ – квадрат приведенной круговой частоты 1-го тона колебаний под-

вижной части жидкости в поперечном направлении; здесь величина $L_{\text{г}}$ приведенной ширины невозмущенной поверхности жидкости в цистерне определяется по формуле

$$L_{\text{г}} = 2 \cdot \sqrt{R^2 - (h - R)^2} ,$$

где R – внутренний радиус бака цистерны;

$m_{\text{жп}j} = \rho \cdot \frac{8 \cdot L_{\text{п}}^2 \cdot B_{\text{п}}}{\pi^3} \cdot \text{th}(\frac{\pi \cdot h}{L_{\text{п}}})$ – масса, соответствующая 1-му тону колебаний подвижной части жидкости в *j*-ой цистерне в продольном направлении, где $B_{\text{п}}$ – приведенная ширина цистерны, которая, как правило, вычисляется по формуле $B_{\text{п}} = \frac{V}{L_{\text{в}} \cdot h}$;

$m_{\text{жг}j} = \rho \cdot \frac{8 \cdot L_{\text{г}}^2 \cdot B_{\text{г}}}{\pi^3} \cdot \text{th}(\frac{\pi \cdot h}{L_{\text{г}}})$ – масса, соответствующая 1-му тону колебаний в поперечном направлении подвижной части жидкости в *j*-ой цистерне, где $B_{\text{г}}$ – приведенная длина невозмущенной поверхности жидкости в цистерне, которая вычисляется по формуле:

$$B_{\text{г}} = \frac{V}{L_{\text{г}} \cdot h};$$

$h_{\text{жв}j} = h_{\text{в}} \cdot \sqrt{\frac{\nu_{\text{ж}j}}{\nu_{\text{в}}}}$ – коэффициент затухания жидкости в *j*-ой цистерне в продольном направлении, где $\nu_{\text{ж}j}$ – кинематическая вязкость жидкости в *j*-ой цистерне, $\nu_{\text{в}}$ – кинематическая вязкость воды, $h_{\text{в}}$ – коэффициент затухания воды, который принимался равным $0,01 \cdot \frac{\omega_{\text{жп}j}}{2\pi}$;

$h_{\text{жв}j} = h^*_{\text{в}} \cdot \sqrt{\frac{\nu_{\text{ж}j}}{\nu_{\text{в}}}}$ – коэффициент затухания жидкости в *j*-ой цистерне в поперечном направлении, где $h^*_{\text{в}}$ – коэффициент затухания воды, который принимался равным $0,01 \cdot \frac{\omega_{\text{жг}j}}{2\pi}$;

$m_{\text{оп}j} = (M_{\text{б}j} - M_{\text{т}j}) - m_{\text{жп}j}$ – масса неподвижной части жидкости в *j*-ой цистерне в продольном направлении;

$m_{\text{ог}j} = (M_{\text{б}j} - M_{\text{т}j}) - m_{\text{жг}j}$ – масса неподвижной части жидкости в *j*-ой цистерне в поперечном направлении. В приведенных формулах $M_{\text{б}j}$ – масса брутто *j*-го экипажа.

Приведенные системы дифференциальных уравнений (1–3) решаются с использованием численных методов интегрирования, которые выбраны с учетом особенностей дифференциальных уравнений и получаемых решений [1, 7]. В предлагаемом вычислительном комплексе в зависимости от решаемых задач для интегрирования дифференциальных уравнений (1–3) возможно использование как метода Адамса-Башфорта-Мультона

- прогноз:

$$p_{k+1} = y_k + \frac{h}{2}(3 \cdot \dot{y}_k - \dot{y}_{k-1});$$

- коррекция:

$$y_{k+1} = y_k + \frac{h}{2}(\dot{p}_{k+1} + \dot{y}_k) ,$$

так и метода Рунге - Кутта 4-го порядка:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2 \cdot k_2 + 2 \cdot k_3 + k_4);$$
$$k_1 = h \cdot f(x_n, y_n);$$
$$k_2 = h \cdot f(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2});$$
$$k_3 = h \cdot f(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2};$$
$$k_4 = h \cdot f(x_n + h, y_n + k_3).$$

Приведенные формулы относятся к группе сильно устойчивых разностных формул [3]. Применение именно сильно устойчивых формул вызвано спецификой тех задач, решение которых требуется рассматривать на довольно длинных отрезках интегрирования.

Как уже указывалось выше, упомянутый программный комплекс позволяет моделировать движения поездов сформированных из различных типов вагонов (грузовых или пассажирских), которые в свою очередь подразделяются на различные типы. Например, грузовые – крытый вагон, полувагон, цистерна и т.д.; пассажирские – плацкартные, купейные, межобластные, спальные вагоны и т.д. Характеристики приведенных выше вагонов находятся в базе данных о вагонах. На рис. 1 в качестве примера приведена база данных для грузовых (крытых) вагонов. Таблица исходных данных позволяет задать тип вагона, который указывается в натурном листе поезда, длину, вес тары, количество осей, вид нажатия на тормозную колодку (одностороннее или двухстороннее), тип подшипников, жесткость конструкции вагона.

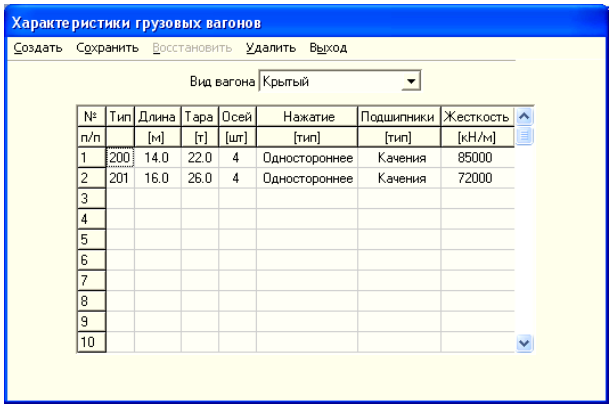


Рис. 1. База данных грузовых (крытых) вагонов

При моделировании движения поездов в состав, которых входят цистерны с неполным наливом, создан специальный интерфейс, с помощью которого можно задать информацию, необходимую для определения описанных выше гидродинамических коэффициентов.

Например, в базе данных для цистерн (рис. 2) имеются дополнительные поля, в которых задается диаметр и длина котла. В поле «тип» – указывается калибровочный тип, который обозначен металлическими цифрами, приваренными к котлу на обеих сторонах его цилиндрической части.

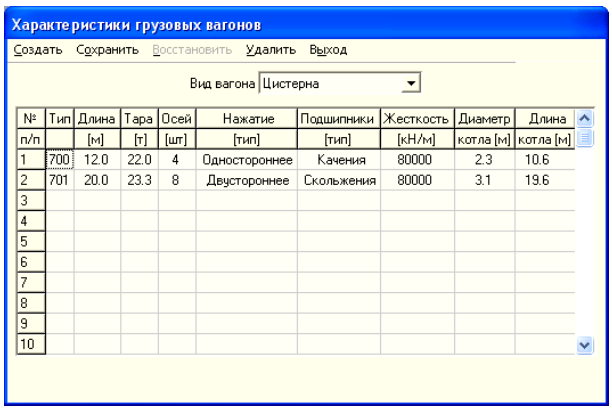


Рис. 2. База данных грузовых вагонов-цистерн

База данных для поездов содержит дополнительные поля, в которых при необходимости задается вид груза (жидкости) и высота недолива, которые указываются в натурных листах при отправлении поездов, включающих цистерны. Например, в поле «Груз» – для цистерн указывается тип перевозимой жидкости (бензин, нефть, олифа и т.д.)

Кроме этого создана база данных для грузов, в которой задаются характеристики перевозимых грузов – плотность и кинематическая вязкость жидкости (рис. 4) [8].

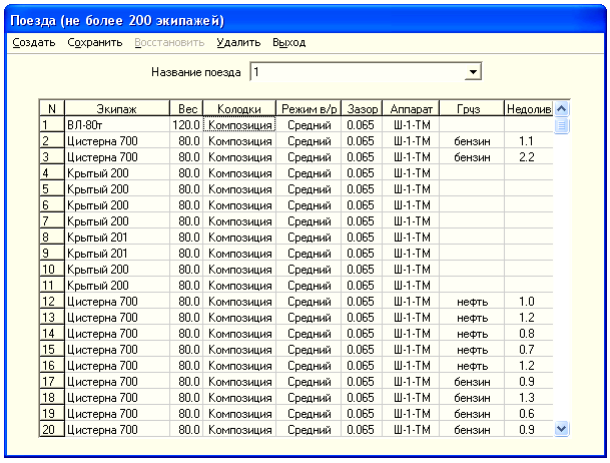


Рис. 3. База данных для поездов

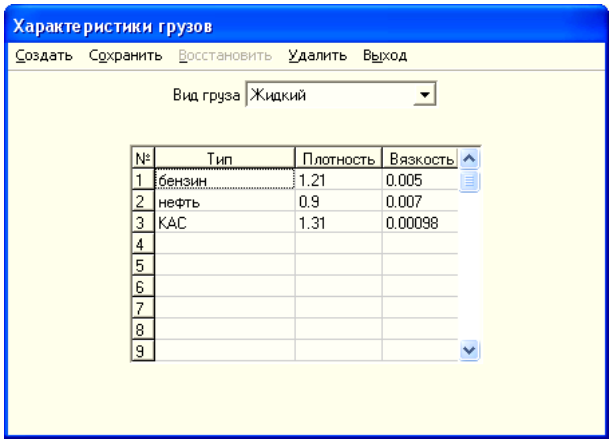


Рис. 4. База данных для грузов

В созданном программно-вычислительном комплексе предусмотрена возможность моделирования движения соединенных поездов с расположением однотипных локомотивов вдоль состава.

При исследовании динамической нагруженности поездов возможно моделирование межвагонных соединений, которые включают поглощающие аппараты различных типов.

Для реализации тормозных процессов, происходящих в поездах, учитывается, что в зависимости от типа экипажа возможны различные типы торможений: пневматическое (грузовые и пассажирские вагоны), электропневматическое (пассажирские вагоны), электрическое (локомотивы), а также торможение, вызванное аварийным режимом – разрыв тормозной магистрали или срыв стоп-крана. При этом предполагается, что тормозная магистраль может быть как сквозной, так и автономной, а рассредоточенные локомотивы могут управляться синхронно или по каким-то другим правилам.

Тормозная сила, действующая на экипаж при пневматическом или электропневматиче-

ском торможениях, определяется следующим образом:

$$Fb_j = -n_j \cdot \varphi_j \cdot k_j(t) \cdot fc,$$

где n_j – количество тормозных колодок в *j*-ом экипаже, φ_j – коэффициент трения тормозных колодок о колесо, который зависит от типа тормозных колодок, силы нажатия колодки на колесо и скорости движения [1, 3], $k_j(t)$ – сила нажатия на одну тормозную колодку, fc – коэффициент, который зависит от погодных условий, наличия песка в локомотиве и учитывает изменения условий сцепления колеса с рельсом.

Число тормозных колодок для каждого экипажа определяется с помощью его основных характеристик – количества осей и вида нажатия, которые задаются в исходных данных.

Сила нажатия на тормозную колодку определяется состоянием воздухораспределителя, который может создавать в тормозном цилиндре давление сжатого воздуха, соответствующее величине разрядки тормозной магистрали или полному или частичному (при ступенчатом отпуске) выпуску сжатого воздуха из цилиндров при повышении давления в магистрали.

При регулировочном торможении снижение скорости движения поездов может быть достигнуто, используя I-ую, II-ую или III-ю ступени торможений. В зависимости от выбранной ступени предполагается, что тормозной цилиндр наполняется сжатым воздухом, соответственно, на 40, 60 и 88 % от максимального значения давления [9].

Исследуя различные типы торможений, необходимо задавать вид торможения (ступень регулировочного торможения, ПСТ, ЭТ или падение давления, вызванное разрывом тормозной магистрали в заданном сечении поезда). В соответствии с этим моделируется работа воздухораспределителя и определяются значения сил нажатия в каждый момент времени. Воздухораспределитель на каждом экипаже срабатывает в момент прихода тормозной волны от источника разрядки тормозной магистрали. Изменение силы нажатия на тормозную колодку $k_j(t)$ в процессе наполнения тормозного цилиндра задается в соответствии с реальными тормозными характеристиками, а при выпуске сжатого воздуха – по линейному закону. При определении силы нажатия учитывается этап подвода тормозных колодок и время наполнения тормозных цилиндров, которое зависит от вида торможения (ПСТ или ЭТ), режима работы воздухораспределителей на пассажирских вагонах (длинносоставный или короткосоставный), а также места нахождения данного экипажа по отношению к источнику разрядки тормозной магистрали.

Сила, действующая на локомотив в тяговом режиме или при электрическом торможении Ft, определяется согласно заданным тяговым или тормозным характеристикам, соответствующим выбранному локомотиву.

Сила основного сопротивления поступательному движению поезда для *j*-го экипажа Wo_j зависит от типа экипажа (грузовой, пассажирский вагоны или локомотив), и вида пути (стыковой или бесстыковой). Для грузовых вагонов при определении Wo_j учитывается также тип подшипников (качения или скольжения), нагрузка на ось и количество осей. При вычислении указанной силы для локомотивов учитывается режим движения (тяговый) [5]/

Сила сопротивления движению, вызванная продольным профилем пути для *j*-го экипажа, определяется по формуле

$$Wi_j = \left(-i - \frac{200}{R} - 1{,}495 \cdot \frac{V_j^2}{R} + 9{,}197 \cdot H_r \right) \times \times 0{,}001 \cdot g \cdot m_j,$$

где i – величина уклона в промилле (знак уклона задается согласно правилам тяговых расчетов: на спуске – со знаком « – », на подъеме – со знаком « + »), V_j – скорость экипажа, R – радиус круговой кривой в плане, H_r – возвышение наружного рельса [5]. В приведенной формуле величины радиуса круговой кривой и возвышения наружного рельса изменяются на входной и выходной кривых от нуля до заданного значения.

В предлагаемом программном комплексе исходные параметры участка пути задаются с помощью двух таблиц «Профиль участка» и «План участка». В таблице «Профиль участка» задаются длины элементов продольного профиля с постоянным уклоном и величины уклонов. В таблице «План участка» задаются:

– длина прямого участка;

– длина переходной кривой на входе в кривую (входная кривая);

– длина круговой кривой;

– длина переходной кривой на выходе из кривой (выходная кривая);

– радиус круговой кривой;

– величина возвышения наружного рельса кривой;

– величина зазора между гребнем колеса и боковой поверхностью головки рельса на прямом участке пути;

– величина этого зазора в кривой.

Для решения поставленной задачи необходимо сформировать задание для расчета. В нем указывается название участка пути, для которого в базе данных имеются все характеристики (параметры профиля и плана участка пути), состояние пути (отличное, среднее или плохое), тип пути (стыковой или бесстыковой). Состояние пути определяется уровнем неровностей пути и величиной сопротивления движению поезда [5].

В задании указывается также:

– название поезда, для которого в базе данных указаны необходимые исходные данные;

– начальное состояние поезда (растянут, сжат или зазоры в межвагонных соединениях распределены вдоль состава произвольным образом);

– величина скорости движения поезда в момент начала моделирования;

– режимная карта (режимы управления поездом), в которой задается номер тяговой или тормозной позиции, положение рукоятки прямодействующего тормоза локомотива, режим пневматического или электропневматического торможений (три ступени регулировочного торможения, полное служебное или экстренное торможение, обрыв тормозной магистрали поезда, с указанием номера вагона). Указанные режимы управления могут переключаться по значениям скорости движения или времени или координаты пути.

Процесс расчета может быть остановлен по показаниям скорости движения (когда скорость в данный момент времени окажется меньше заданной), по времени (когда время движения поезда будет больше заданного), или по координате пути (когда пройденный путь окажется больше заданного).

В результате расчета могут быть получены:

– осциллограммы продольных сил и ускорений;

– распределения вдоль поезда максимальных значений продольных сил в рассматриваемых сечениях и ускорений вагонов;

– значения наибольших в поезде продольных усилий и ускорений в данный момент времени с указанием номера сечения или экипажа, в котором они возникали;

– траектория движения – зависимость скорости движения от пройденного пути или от времени движения.

Апробация разработанной математической модели производилась путем сопоставления результатов, полученных путем численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих движение поезда, с результатами многочисленных специальных опытов, проведенных в реальных условиях железных дорог [4, 10].

В качестве примера на рис. 5 приведены осциллограммы продольных сил в автосцепке, полученные при соударении 8-осной цистерны, с уровнем заполнения h = 2,5 м с цистерной-бойком массой 185,2 т при скорости V = 8 км/ч. Характеристики поглощающих аппаратов, геометрические, инерционные и другие параметры цистерны с жидкостью получены по данным испытаний.

Расчеты проводились при следующих значениях параметров: масса 8-осной цистерны равнялась 175 т, при этом масса цистерны с неподвижной относительно кузова жидкостью составляла 70,2 т, а приведенная масса, соответствующая 1-му тону колебаний подвижной части жидкости в цистерне $m_{жп}$ = 104,8 т. Приведенные длина и ширина цистерны принимались равными соответственно L = 19,6 м и B = 2,52 м. Приведенная частота 1-го тона колебаний подвижной части жидкости $\omega_{жп}$ = = 0,77 $с^{-1}$, плотность жидкости ρ = 10 кН/$м^3$, кинематическая вязкость $\nu = 2 \cdot 10^{-6}$ $м^2/с$. Характеристика поглощающего аппарата получена по результатам проведенных опытов с описанным выше сцепом. Жесткости поглощающего аппарата Ш-1-ТМ при нагрузке и разгрузке равнялись соответственно 10 тыс. и 1,2 тыс. кН/м. Жесткость конструкции 8-осной цистерны принималась равной 19 тыс. кН/м.

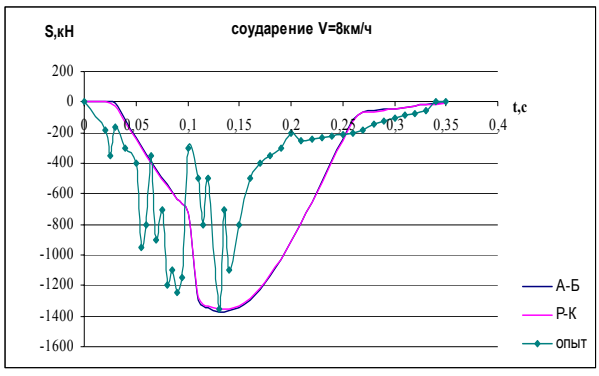


Рис. 5. Сопоставление осциллограмм продольных сил в автосцепке при соударении 8-осной цистерны со скорости 8 км/ч, полученных опытным путем и по результатам расчетов

Как видно из приведенного рисунка, наибольшее значение продольной силы и время ее

появления, найденные расчетным путем, соответствует аналогичным величинам, полученным в эксперименте. Приведенные осциллограммы, для рассматриваемого отрезка времени, не зависят от способа интегрирование дифференциальных уравнений движения.

Для оценки влияния метода интегрирования на результаты получаемых решений на рис. 6–8 приведены зависимости перемещения и скорости движения сцепа после соударения от времени движения, а также зависимость скорости движения от пройденного пути для случая соударения, описанного выше. Более темная линия соответствует результатам, полученным при интегрировании систем дифференциальных уравнений (2, 3) методом Адамса-Башфорта-Мультона, а менее темная – методом Рунге-Кутта 4-го порядка.

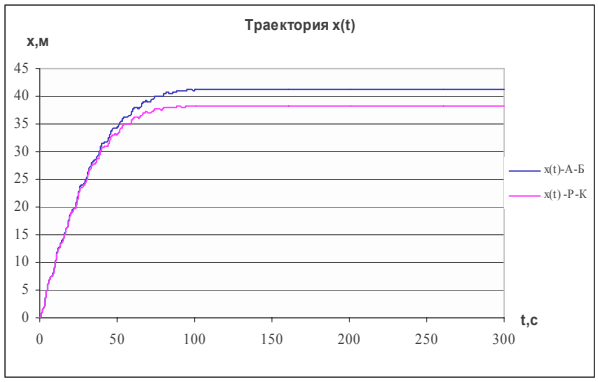


Рис. 6. Зависимость перемещения сцепа от времени движения при соударении со скорости 8 км/ч

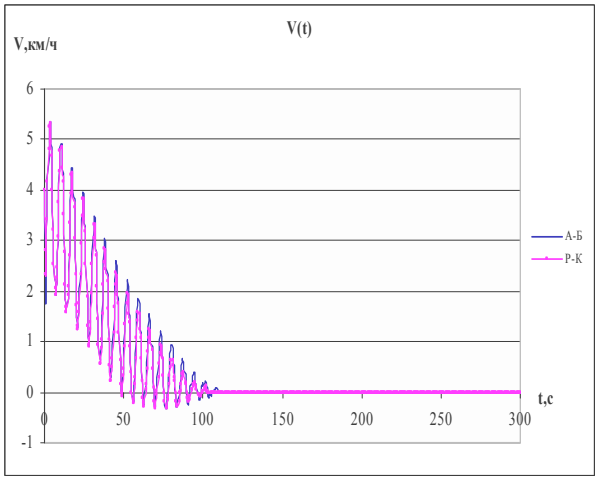


Рис. 7. Зависимость скорости движения сцепа от времени при соударении со скорости 8 км/ч

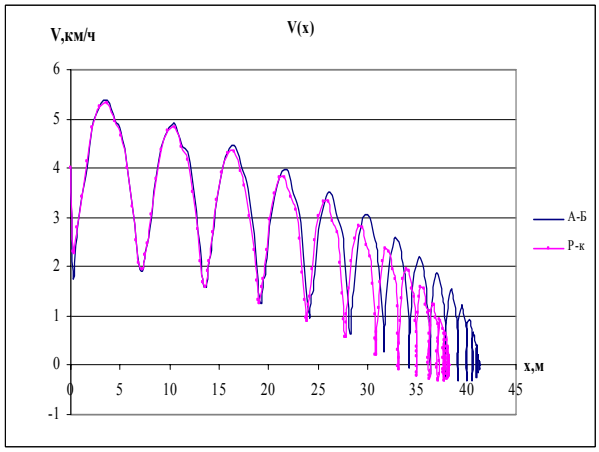


Рис. 8 . Зависимость скорости движения сцепа от пройденного пути при соударении со скорости 8 км/ч

Как следует из рис. 5–8, предлагаемые методы интегрирования (Рунге-Кутта 4-го порядка и Адамса-Башфорта-Мультона) систем дифференциальных уравнений (2) и (3) дают различие только при оценке пройденного пути, которое не превышает 8 %.

Ниже в табл. 1 приведено сопоставление результатов эксперимента и расчета, соответствующих торможению поезда, состоящего из локомотива ВЛ-8 и 54-х загруженных вагонов-цистерн, залитых КАС массой 62 т с уровнем свободной поверхности жидкости, удаленной на 1,14 м от верхней внутренней поверхности котла цистерны, с результатами эксперимента [10]. В качестве контролируемых параметров использовались максимальные, в данном сечении поезда, продольные усилия. Рассматривалось экстренное торможение предварительно растянутого поезда с начальной скорости 15 км/ч.

Таблица 1

Максимальные продольные силы (кН), действующие на вагон с указанным номером	S_{42}	S_{43}	S_{44}	S_{45}	S_{46}
Расчет	–870	–910	–850	–810	–740
Опыт	–740	–920	–910	–790	–720
Погрешность,%	17	1	6,5	2,5	3

Как видно из приведенной таблицы, расхождения при оценке наибольших сил не превышали 17 %.

Анализ приведенных исследований показывает, что результаты, полученные путем численного интегрирования системы существенно

нелинейных дифференциальных уравнений движения поезда, вполне удовлетворительно согласуются с результатами экспериментов. Это позволяет считать, что построенная математическая модель и ее программная реализация довольно близко отображают процессы, имеющие место при переходных режимах движения поезда.

Как известно, в реальных условиях наиболее опасно протекают процессы экстренного торможения в том случае, когда зазоры существенно влияют на переходной процесс. Поэтому оценим продольную нагруженность поезда, состоящего из локомотива ВЛ-8 и 59 цистерн массой 85,2 т, при экстренном торможении со скорости 30 км/ч. Расчеты проводились для следующих параметров цистерн: масса цистерны равнялась 85,2 т, при этом масса тары цистерны и неподвижной относительно кузова жидкости составляла 40,1 т, а приведенная масса, соответствующая 1-му тону колебаний подвижной части жидкости в цистерне $m_{жп}$ = = 45,1 т. Приведенные длина и ширина цистерны принимались равными соответственно L = = 10,3 м и B = 2,45 м. Приведенная частота 1-го тона колебаний подвижной части жидкости $\omega_{жп}$ = 1,23 $с^{-1}$, плотность жидкости ρ = = 13,1 $кН/м^3$, уровень недолива $h_н$ = 1,14 м.

Чтобы показать, в какой мере продольная нагруженность «наливного» поезда отличается от той, которая имеет место в поезде, содержащем только вагоны с неподвижными грузами, было проведено моделировании экстренного торможения поезда, состоящего из локомотива ВЛ-8 и 59 полувагонов массой 85,2 т. В качестве сравнения рассматривался поезд, сформированный из 59 полувагонов. Предполагалось, что рассматриваемые поезда оборудованы композиционными тормозными колодками, а воздухораспределители включены на средний режим работы. Для оценки наибольших в поезде усилий и характера изменения их максимальных значений в межвагонных соединениях рассматривался случай, когда эти соединения оборудованы упруго-фрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ, при этом жесткость межвагонного соединения при нагружении принималась равной 26 тыс. кН/м.

Ниже на рис. 9 изображены графики распределения наибольших продольных сил по длине поезда.

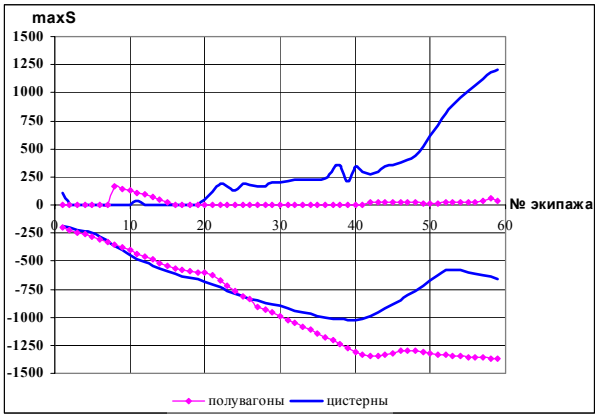


Рис. 9. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда, состоящего из полувагонов (прерывистая линия) или из цистерн (сплошная линия)

Из приведенного рисунка видно, что наибольшие сжимающие силы возникают в поезде, сформированном из полувагонов. В наливном поезде подвижность жидкости уменьшает сжимающие усилия в автосцепках, но приводит к росту наибольших растягивающих продольных усилий, которые возникают в момент прихода тормозной волны к хвостовым вагонам. Как известно, уровень продольных усилий зависит от характеристики межвагонного соединения. В частности, ниже на рис. 10 показаны распределения вдоль поезда, состоящего из 59 цистерн, максимальных значений продольных сил в различных сечениях состава при экстренном торможении для варианта, когда жесткость в межвагонном соединении при нагружении была уменьшена до 13 тыс. кН/м (случай, когда оба поглощающих аппарата имели возможность полностью выбрать свой ход). В этом случае уровень сжимающих усилий снизился незначительно (на 10 %), а значение наибольшей растягивающей продольной силы уменьшилось примерно в 1,5 раза.

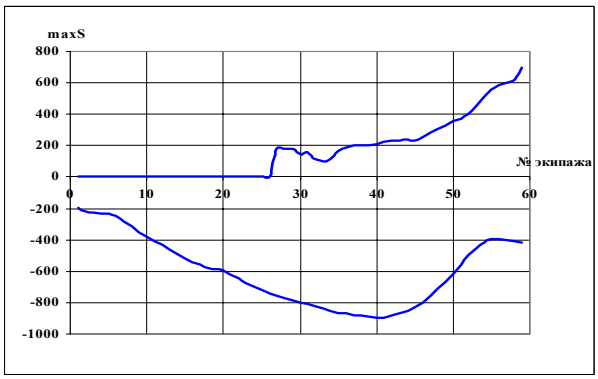


Рис. 10. Распределение максимальных продольных сил по длине поезда, состоящего из 59 цистерн, при экстренном торможении со скорости 30 км/ч

Из проведенных экспериментов с поездами, сформированными из цистерн, известно, что после отпуска тормозов на стоянке в течение некоторого времени цистерны совершают перемещения под влиянием колебаний подвижной части жидкости. Исследуем это явление и выясним, в какой мере величина начальной затяжки влияет на распределение вдоль поезда максимальных значений продольных сил и на протекание описанного динамического процесса.

Для проведения численного эксперимента рассматривался описанный выше поезд из локомотива ВЛ-8 и 59 цистерн. Моделировалось экстренное торможение предварительно растянутого поезда со скорости 30 км/ч.

На рис. 11–12, в качестве примера, изображены зависимости перемещения и скорости 2-го экипажа от времени. На приведенных графиках рассмотрены процессы от момента остановки поезда. При этом тормозной путь составил приблизительно 121 м (см. рис. 11 по оси ординат), а произошло это на 20-й секунде движения (ось абсцисс).

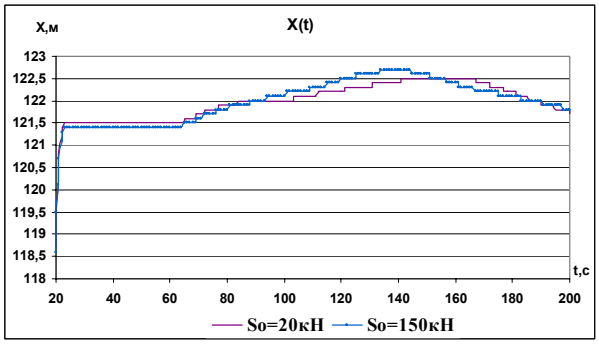


Рис. 11. Зависимость перемещения от времени движения при экстренном торможении со скорости 30 км/ч при разных значениях начальной затяжки поглощающего аппарата Ш-1Т-М

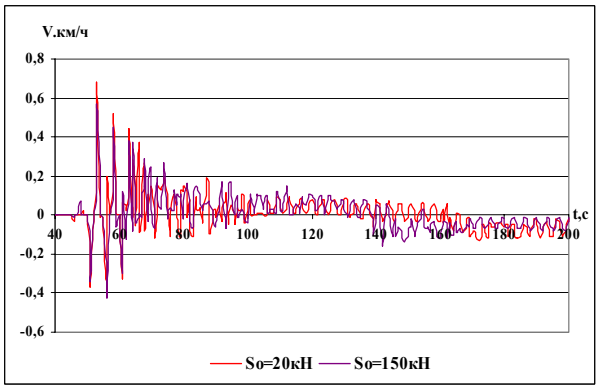


Рис. 12. Зависимость скорости движения от времени при разных значениях начальной затяжки поглощающего аппарата Ш-1Т-М

Из рис. 11 видно, что примерно после 60-й секунды закончился полный отпуск тормозов, после чего наблюдается процесс колебания цистерны под действием подвижной жидкости. Как следует из полученных результатов, при увеличении начальной затяжки поглощающего аппарата с 2 до 15 т колебательный процесс оказывается более интенсивным.

На рис. 13 приведены графики распределения по длине рассматриваемого поезда максимальных значений продольных усилий для разных значений начальной затяжки поглощающего аппарата.

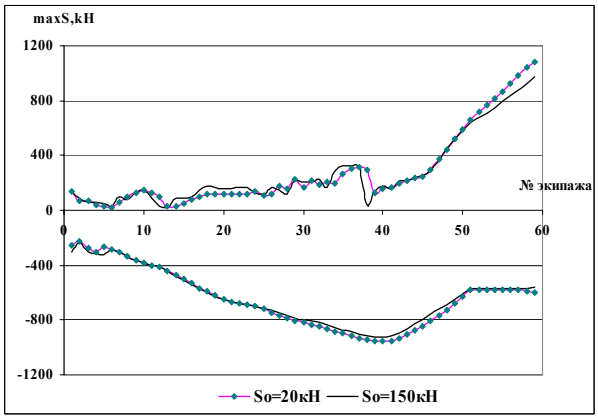


Рис. 13. Распределение максимальных продольных сил по длине поезда при разных значениях начальной затяжки поглощающего аппарата Ш-1Т-М

Приведенные зависимости показывают, что величина начальной затяжки практически не влияет на уровень наибольших сил в поезде.

Из приведенных выше графиков следует, что разработанная математическая модель достаточно точно отображает процессы, протекающие в грузовых поездах, в том числе в поездах, сформированным только из цистерн с неполным наливом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блохин, Е. П. Вычислительный комплекс для решения задач безопасности и устойчивости движения подвижного состава железных дорог [Текст] / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк., К. И. Железнов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 106-114.
2. Блохин, Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) [Текст] / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
3. Коломийченко, В. В. Автосцепное устройство подвижного состава [Текст] / В. В. Коломийче-

нко, Н. Г. Беспалов, Н. А. Семин. – М.: Транспорт, 1980. – 185 с.
4. Рыжов, А. В. Исследование нагруженности восьмиосных цистерн при соударениях [Текст] / А. В. Рыжов, Ю. М. Черкашин, Н. Я. Гаркави // Вестник ВНИИЖТ. – № 6. – М., 1982. – С. 37-40.
5. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
6. Таблицы калибровки железнодорожных цистерн [Текст]. – М.: Транспорт – ТРАНСИНФО, 1997. – 109 с.
7. Хемминг, Р. В. Численные методы [Текст] / Р. В. Хемминг. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
8. Справочник машиностроителя [Текст] / под ред. Е. А.Чудаков. – Т. 1. – М.: Машгиз, 1953. – 1036 с.
9. Иноземцев, В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава [Текст] / В. Г. Иноземцев. – М.: Транспорт, 1979. – 424 с.
10. Разработка и согласование с Укрзализницей технических условий на перевозку КАС (ТУ 24.00.1286-82) по маршрутам Горловка–Одесса, Черкассы–Одесса в вагонах модели 15-1443 [Текст] : отчет о НИР / ДИИТ. – Д., 1996. – 96 с.

Поступила в редколлегию 21.04.2010.
Принята к печати 29.04.2010.

УДК 669.66-2

О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, С. В. МЯМЛІН, Є. О. ПИСЬМЕННИЙ,
І. Є. СКОГАРЕВ (ДІІТ), Д. В. ГОРОБЕЦЬ (ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпропетровськ)

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У НАПІВОБРОБЛЕНИХ ОСЯХ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

В статті проведено аналіз результатів порівняльних випробувань з визначення залишкових напружень у напівоброблених осях, виготовлених за різними технологіями, та зроблено висновки щодо перспективності та стабільності нової технології виготовлення напівоброблених осей.

В статье проведен анализ результатов сравнительных испытаний по определению остаточных напряжений в полуобработанных осях, изготовленных по разным технологиям, и сделаны выводы относительно перспективности и стабильности новой технологии изготовления полуобработанных осей.

In the article the analysis of comparative tests on determination of remaining tensions in the semitreated axles produced according to different technologies is conducted and the conclusions re. availability and stability of the new production technology for semitreated axles are done.

З розвитком металургійної промисловості України пов'язаний пошук нових технологій термообробки металів, які порівняно зі стандартними технологіями визначають більш швидкі та економічні способи виготовлення матеріалів із заданими властивостями. Так, на ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф. Е. Дзержинського» проходить випробування нова, модернізована технологія виготовлення осей для рухомого складу залізниць. Якщо традиційна технологія включає в себе термообробку в режимі: «одинарна нормалізація та високий відпуск», то модернізована передбачає одинарну нормалізацію та регульоване охолодження (самовідпуск) у спеціальних колодязях уповільненого охолодження (температура укладки в колодязі 300…500 °С). Очевидно, пропонована технологія дозволяє не тільки досягти прискорення процесу виготовлення продукції, але також є ресурсозберігаючою, що є окремим цінним її аспектом. Така зміна технологічного процесу потребує перевірки не тільки макроструктури, механічних властивостей сталі, таких як: тимчасовий опір, границя текучості та витривалості, відносне подовження, звуження, але й визначення залишкових напружень, що є в осях, вироблених за новою технологією, та їх порівняння з осями, побудованими з використанням традиційної технології.

Оцінка рівнів залишкових напружень принципово важлива для відповідальних елементів екіпажної частини рухомого складу, внаслідок чого їх рівень нормується чинною керівною документацією [1, 2].

У відповідності до вищевказаного, за договором, укладеним між Дніпровським металургійним комбінатом ім. Ф. Е. Дзержинського та Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, проведено комплексну науково-дослідну роботу з визначення залишкових напружень напівоброблених осей, виготовлених за різними технологіями.

З урахуванням похибок, які виникають при застосуванні непрямих методів визначення залишкових напружень [3, 4], було прийнято рішення щодо їх визначення механічним методом, заснованим на розрізанні металу та звільненні його від залишкових напружень. Залишкові напруження оцінювалися шляхом порівняння напружень в дослідних площинах, розташованих на поверхні шийок та підступичних зон осей, до та після механічної обробки.

Випробуванням піддавалися осі з однієї плавки № 712715 марки **F**, виробництва ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф. Е. Дзержинського», що пройшли плавку при температурі її завершення не нижче 600 °С у відповідності до переліку, наведеного нижче:

- осі з термообробкою в режимі: одинарна нормалізація та високий відпуск (стандартна технологія) – 2 одиниці;
- осі з термообробкою в режимі: одинарна нормалізація та регульоване охолодження (самовідпуск) у спеціальних колодязях уповільненого охолодження (температура укладки в колодязі 300…500 °С) – 2 одиниці.

© Бондарєв О. М., Горобець В. Л., Мямлін С. В., Письменний Є. О., Скогарев І. Є., Горобець Д. В., 2010

Загальний вигляд робочої зони з розташуванням в ній напівосей, обладнаних тензодатчиками, наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд робочої зони для проведення випробувань напівосей з вимірювання залишкових напружень

Технологічні дані, що стосуються виробництва профільних заготовок для осей плавки 712715 F, наведено нижче. Хімічний склад сталі дослідної плавки наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сталі плавки 712715 F

Етап	Плавочний	За стандартом М101
C	0,5	0,45…0,59
Mn	0,83	0,60…0,90
Si	0,20	min 0,15
S	0,020	< 0,050
P	0,016	< 0,045
Al	0,030	

Макроструктура вихідних осьових заготовок була задовільною та відповідала вимогам нормативної документації, та наведена у табл. 2. Механічні властивості сталі плавки № 712715, які наведено у табл. 3, відповідають вимогам стандарту М101.

Умовні номери осей, які використовувалися для проведення усіх випробувань, наведено у табл. 4.

Всі дослідні осі були механічно розділені на половини (напівосі). З одних половин були виготовлені зразки для інших видів випробувань, а решта оснащувалась вимірювальними датчиками (тензорезисторами). Після завершення вимірювань існуючих станів напружено-деформованого стану у точках на поверхнях осей з ни-

Таблиця 2

Макроструктура вихідної осьової заготовки 712715 F

Показник	Бал
Точкова неоднорідність	2/2
Центральна пористість	2/2
Ліквацій ний квадрат	0/0
Загальна п’ятниста ліквація	0/0
Підусадочна ліквація	0/0

Таблиця 3

Механічні властивості сталі плавки № 712715 F

№ профільних заготовок	485630	485697	Норма
Тимчасовий опір, Н/мм^2	631	667	608
Границя текучості, Н/мм^2	348	363	345
Відносне подовження, %	28	28	22
Звуження, %	51	52	37
Примітки	Одинарна нормалізація та відпуск	Одинарна нормалізація та регульоване охолодження в спеціальних колодязях уповільненого охолодження	

Таблиця 4

Номери напівоброблених осей, виготовлених за різними технологіями, з якими проводилися випробування з визначення залишкового напруження

Номер плавки	Одинарна нормалізація та відпуск	Одинарна нормалізація та регульоване охолодження в спеціальних колодязях уповільненого охолодження
712715	485623	485687
	485629	485690

ми проводилась механічна обробка (фрезерування) повздовжнього та радіального вирізів матеріалу навколо точок розташування тензорезисторів завглибшки до 70 мм. При цьому були витримані температурні параметри (нагрів до 80 °С), який забезпечує подальшу працездатність тензорезисторів.

З метою обґрунтування параметрів вирізання площадок було проведено розрахунок їх напружено-деформованого стану. Вихідні дані та результати розрахунку наведені на рис. 2 – 5. Як видно з рис. 5, прийняті параметри площадок дозволяють уникнути небажаного впливу напружень в основному матеріалі конструкції на напруження по верхній площині вирізаного елементу.

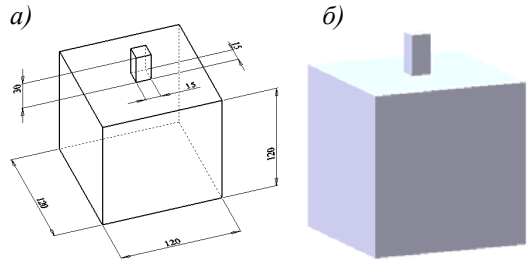


Рис. 2. Геометрична модель:
а) розміри; *б)* загальний вид

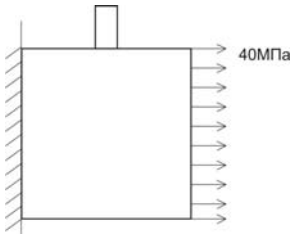
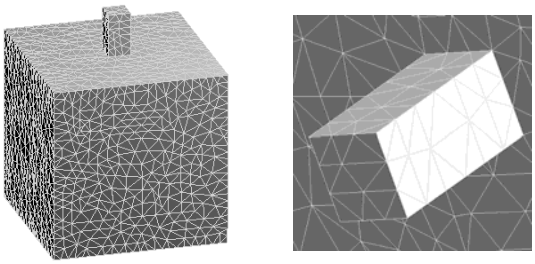


Рис. 3. Розрахункова схема

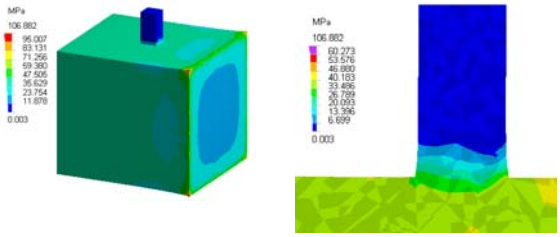


а) загальний вид *б)* вид 1

Рис. 4. Розбивка скінченно-елементної моделі

Вид напівосей після проточок з вибрання металу навколо точок вимірювання деформацій наведено на рис. 6*а*, 6*б*.

Після виконання відповідних вирізів матеріалу навколо точок з тензорезисторами на поверхні шийок та підступиць проводилося повторне вимірювання напружено-деформованого стану. Далі проводилася обробка результатів вимірювань з визначення залишкових деформацій та відповідних їм залишкових напружень.



а) загальний вид *б)* вид 1

Рис. 5. Напружено-деформований стан площадки

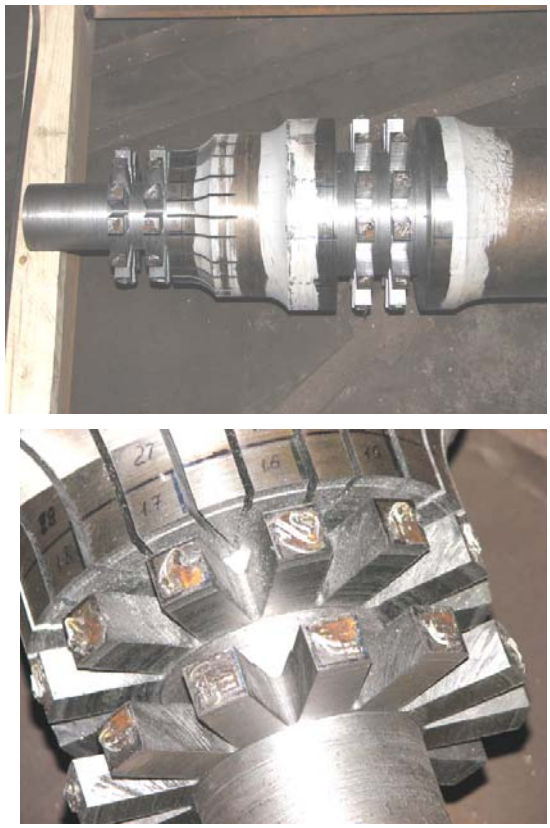


Рис. 6: *а)* Вид напівосі після проточок з вибрання металу; *б)* Наближений вид напівосі після проточок з вибрання металу

Кількість площадок для проведення випробувань з оцінки залишкових напружень в перерахунку на половину однієї осі складає 48 одиниць. Загальна кількість точок, в яких вимірювалися залишкові деформації згідно положень Програми та методики, складала 192 одиниці.

Нижче на рис. 7, 8 наведено схеми та види напівосей з розташованими на них тензорезисторами. Тензорезистори базою 5 мм наклеювалися на бічній поверхні шийки та підступиці.

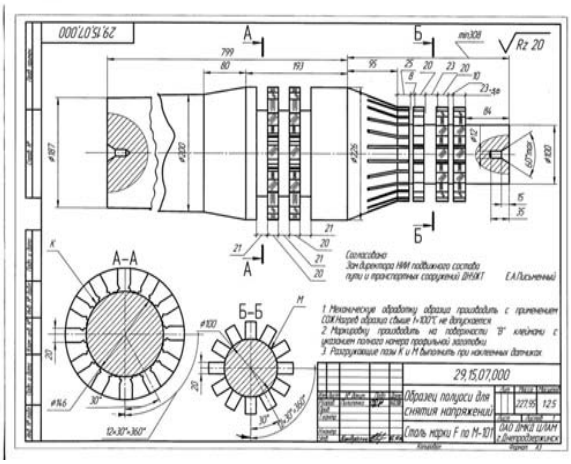


Рис. 7. Схема розташування тензорезисторів та розрізів на поверхні напівосей для визначення залишкових напружень

В кожному з перерізів шийки або підступиці напівосі частина тензорезисторів наклеювалися базою паралельно до радіального напрямку – «поперечний напрямок», або паралельно до її осі – «повздовжній напрямок» (по 6 тензорезисторів в кожному перерізі), а інші 6 тензорезисторів розташовувалися таким чином, що кут між напрямком їх бази та віссю напівосі складав 45° – «похилий напрямок». Обрання похилого напрямку розташування тензорезисторів викликано тим, що в цих напрямках при крученні валів або осей створюються найбільші нормальні (головні) напруження.



Рис. 8. Загальний вигляд розташування тензорезисторів на поверхні напівосі

Об’єктом випробувань є чотири напівоброблені осі, які виготовлені за різними технологіями. Дані про ці осі наведено у табл. 1 – 4.

В якості вимірювальних пристроїв використовувалися:

– Дротові тензорезистори типу КФП5П1-5-200 – Б-12 з базою 5 мм, опором 200 Ом;

– Вимірювальна тензометрична система СИИТ-3 № 981, яка призначена для вимірювання вихідних параметрів тензорезисторів та представляє результати вимірювань у цифровому вигляді. Загальна кількість каналів дорівнює 100. Паспортні дані про точність вимірювань: границя припустимого значення систематичної похибки статичної характеристики перетворення $\pm[10{,}1 + 0{,}03\times \times(N/N_i - 1)]$ %, межа припустимого середньоквадратичного відхилення випадкової складової похибки статичної характеристики перетворення ±1,5 мкОм/Ом. Вказана апаратура пройшла повірки 25.01.2008 р. (свідоцтво № 626 Дніпропетровського регіонального державного науково-технічного центру стандартизації, метрології та сертифікації).

Загальний вигляд тензометричної системи СИИТ-3 наведено на рис. 9.

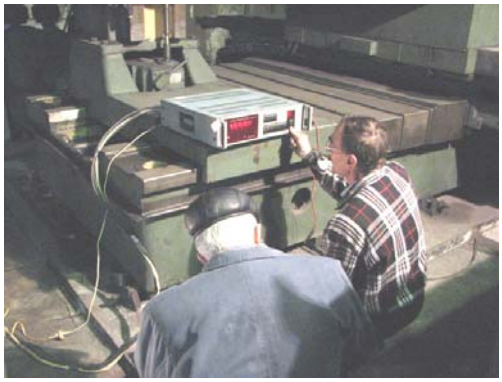


Рис. 9. Тензометрична система СИИТ-3 в процесі проведення випробувань

Випробування з визначення залишкових деформацій та відповідних їм напружень проводилися в цеху остаточної обробки та приймання осей ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф. Е. Дзержинського», в якому температура повітря дорівнювала 16 °С. При цьому такою температура була при проведенні двох вимірювань, які виконувалися до та після механічної обробки, що пов’язана із вирізанням металу навколо точок вимірювання деформацій.

Напівосі з наклеєними тензорезисторами розташовані на спеціальних рамних конструкціях, встановлених на бетоновану площадку (див. рис. 8). На рис. 10 показано напіввісь, обладнану вимірювальними пристроями.

На підставі отриманих результатів для кожної з напівосей в зоні шийки осі та підступичній частині, були визначені наступні параметри:

– математичне очікування залишкових напружень;
– стандартне відхилення величини залишкових напружень.

Вказані дані наведено в табл. 5.



Рис. 10. Загальний вигляд напівосі з підключеними вимірювальними пристроями

Таблиця 5

Статистичні результати оцінки залишкових напружень

№ напівосі	Зона вимірювання	Напрямок датчиків	Математичне очікування залишкових напружень, МПа	Стандартне відхилення залишкових напружень, МПа
485687*	шийка	попереч.	–6,40	6,78
		поздовж.	–50,31	8,77
		похилий	–29,56	4,50
	підступична частина	попереч.	–5,84	6,59
		поздовж.	–30,02	4,70
		похилий	–21,07	3,26
485690*	шийка	попереч.	–5,25	7,16
		поздовж.	–4,67	5,53
		похилий	–10,63	4,17
	підступична частина	попереч.	–11,19	7,94
		поздовж.	–40,07	11,96
		похилий	–27,07	4,44
485623	шийка	попереч.	–7,46	8,39
		поздовж.	10,70	4,87
		похилий	0,58	2,51
	підступична частина	попереч.	3,50	5,73
		поздовж.	–10,11	6,52
		похилий	3,50	8,60
485629	шийка	попереч.	–4,77	6,25
		поздовж.	–8,56	3,39
		похилий	–11,41	5,00
	підступична частина	попереч.	–16,02	20,95
		поздовж.	–24,51	19,46
		похилий	–16,08	3,46

* примітка: термообробку виконано за новою технологією.

З метою визначення розподілу головних напружень в шийці та підступичній частинах напівосей зроблено відповідний аналіз їх значень. При цьому слід зауважити, що за технічними умовами проведення випробувань датчики, які складають розетки деформацій, було розташовано не в безпосередній близькості, а на двох достатньо близьких одне до одного поясах.

Вказані результати зведено у табл. 6.

Таблиця 6

Орієнтовні значення статистичних характеристик головних напружень в об'єктах випробувань

№ напівосі	Зона вимірювання	Математичне очікування головних залишкових напружень, МПа	Стандартне відхилення головних залишкових напружень, МПа	Максимальні значення головних залишкових напружень з довірчою ймовірністю 0,95, МПа
485687*	шийка	–5,72	7,45	9,18
	підступична частина	–5,08	6,59	8,1
485690*	шийка	0,04	4,39	8,82
	підступична частина	–6,74	7,23	7,72
485623	шийка	10,52	4,12	18,76
	підступична частина	7,88	8,88	25,64
485629	шийка	–6,79	1,51	–3,77
	підступична частина	–1,29	12,15	23,01

* примітка: термообробку виконано за новою технологією.

Висновки

Аналіз результатів робіт з визначення залишкових напружень дозволяє зробити наступні висновки:

1. Залишкові напруження, які співпадають із напрямком напружень від дії основних навантажень (паралельно поздовжнім осям осей), є стискаючими. При цьому осі, виготовлені за технологією нормалізації з регульованим охолодженням, дають більш стабільні результати, ніж ті, що пройшли термообробку за стандартною технологією.

2. Максимальні значення напружень розтягання діють у напрямку, наближеному до поперечного (тобто тому, що діє вздовж периметру поперечного перерізу осі). Осі, виготовлені за новою технологією, дають при цьому стабільний статистичний результат, на відміну від

осей, виготовлених за стандартною технологією (розсіювання результатів 4…25 МПа).

3. За отриманими результатами величин залишкових напружень технологію нормалізації з регульованим охолодженням слід вважати більш вдалою, ніж традиційна термообробка.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30272–96. Оси черновые (заготовки профильные) для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм [Текст]. – М: Госстандарт РФ, 1996. – 29 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
3. Гуща, О. И. Измерение остаточных напряжений в сварных соединениях без разрушения [Текст] / О. И. Гуща, В. К. Лебедев // Автоматическая сварка. – 1969. – № 1. – С. 42-44.
4. Орехов, Г. Т. Определение остаточных сварочных напряжений магнитоупругим методом [Текст] / Г. Т. Орехов // Автоматическая сварка. – 1974. – № 4. – С. 30-32.

Надійшла до редколегії 11.03.2010.
Прийнята до друку 24.03.2010.

УДК 629.423.3

М. Л. КОРОТЕНКО, Р. Б. ГРАНОВСКИЙ, С. А. КОСТРИЦА, А. В. СУЛТАН,
В. В. ГЛУХОВ, И. В. КЛИМЕНКО, Н. Я. ГАРКАВИ, Е. Ф. ФЕДОРОВ,
В. В. КАРПЕНКО (ДИИТ)

ПРИМЕРЫ КАЗУСОВ, ПРОИЗОШЕДШИХ ПРИ ПОСТАНОВКЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКЕ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наведено приклади, у яких первинні висновки про характеристики випробуваних об'єктів через використання зайво ідеалізованих моделей були помилковими.

Приведены примеры, в которых первоначальные выводы о характеристиках испытуемых объектов из-за использования излишне идеализированных моделей были ошибочными.

There are presented some examples where the primary conclusions on features of the objects tested were wrong because of using the unwarranted idealized models.

Как правило, натурный эксперимент имеет целью подтвердить или опровергнуть какую-либо гипотезу, которая «сформулирована» на основе анализа эксплуатационных данных испытуемого изделия (возможно, изделия, аналогичного испытуемому) или на основе численного эксперимента, использующего некоторую идеализированную модель исследуемого процесса. Другими словами, обычно испытатель в натурных испытаниях имеет дело не с «чёрным ящиком».

Ошибки в испытаниях появляются при неудачном планировании испытаний, при ошибочных или недостаточно точных измерениях, при неправильной обработке результатов испытаний.

Очевидный недостаток квалификации испытателя, использование непригодных к измерениям или недостаточно точных для конкретных измерений датчиков и аппаратуры в данной статье рассматриваться не будет. Кроме того, существует нормативная литература, обобщающая многолетний опыт испытателей и ориентированная на «типичный» подвижной состав и «типичную» его эксплуатацию.

Между тем, в модели, на которую ориентируется испытатель, могли не быть учтены какие-либо достаточно важные свойства испытуемого объекта либо часть аргументов исследуемого процесса. Более того, система измерений, построенная на основе идеализированной модели, может оказаться непригодной к регистрации в натурном эксперименте необходимой для дальнейшего анализа информации.

Ниже приведены 3 примера, когда у испытателей возникли определённые трудности при проведении испытаний или при обработке результатов испытаний.

Пример 1. Трудности в данном случае возникли, потому что испытатель ориентировался на излишне идеализированную модель исследуемого процесса (аргументов в математической модели меньше, чем у реального процесса).

Пусть скорость поступательного движения железнодорожного экипажа – v. Как известно [1, 2], колёсная пара из-за конусности железнодорожных колёс склонна к извилистому движению в рельсовой колее. При этом до определённой скорости в прямом участке пути виляние тележки, спровоцированное, например, стыковыми неровностями пути, имеет тенденцию к затуханию (рис. 1, где ψ — угол между продольными осями кузова и тележки). При возрастании скорости спровоцированное стыковыми неровностями виляние со значительными амплитудами угловых колебаний не затухает достаточно долго (рис. 2). При скорости $v_к$ виляние с большими амплитудами угловых колебаний практически не затухает (рис. 3). При скорости, превышающей $v_к$, значительно возрастают горизонтальные поперечные силы, приложенные к оси колёсной пары (при этой скорости заметно возрастают и не приведенные на рис. 4 амплитудные значения коэффициентов вертикальной динамики I ступени подвешивания). При дальнейшем возрастании скорости возможен сход из-за всползания колеса на головку рельса. Казалось бы, несложно экспериментально определить величину скорости $v_к$ для конкретного экипажа. Между тем, скорость $v_к$ в сухую погоду и в дождь (из-за разного трения в контакте колеса и рельса), а также на прямом участке пути и в кривой (из-за появления поперечной силы в контакте колеса и рель-

© Коротенко М. Л., Грановский Р. Б., Кострица С. А., Султан А. В., Глухов В. В., Клименко И. В., Гаркави Н. Я., Федоров Е. Ф., Карпенко В. В., 2010

са – рис. 5) у одного и того же экипажа окажется существенно различной. В подтверждение предыдущего тезиса отметим, что у одного и того же порожнего грузового вагона на изношенных колесах на одном и том же прямом участке пути наибольшие с доверительной вероятностью 0,999 поперечные силы при скорости $v \approx 70 \pm 7{,}5$ км/ч в сухую погоду $|H_{\text{Р}}| =$ = 16,5 кН, а в дождь $|H_{\text{Р}}| = 11{,}5$ кН. Отметим, что у локомотива с расположенной между кузовом и тележкой толкающей наклонной тягой критическая скорость в режиме тяги и на выбеге тоже окажется различной.

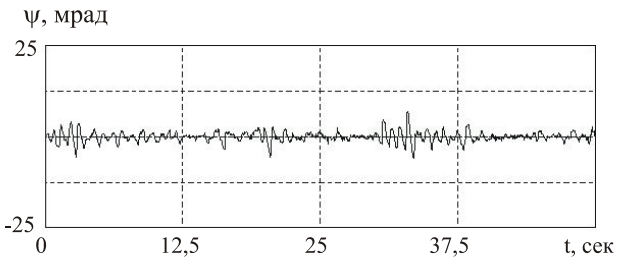


Рис. 1. При скоростях $v << v_{\text{к}}$ колебания виляния, спровоцированные стыковыми неровностями, имеют малую амплитуду и быстро затухают

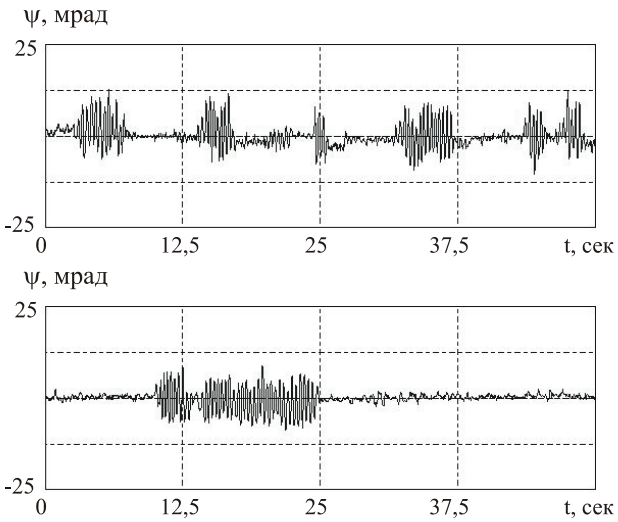


Рис. 2. При скоростях $v < v_{\text{к}}$, но с приближением к $v_{\text{к}}$ спровоцированные стыковыми неровностями виляния не затухают достаточно долго

Таким образом, если не ввести в модель извилистого движения тележки такие аргументы как погода и (для локомотива с наклонной тягой) режим ведения локомотива, результаты испытаний могут оказаться весьма противоречивыми, а при эксплуатации результаты испытаний могут не подтвердиться. Более того, основываясь на выводах, построенных по результатам испытаний в дождь, можно спровоцировать аварию при эксплуатации испытанного подвижного состава в сухую погоду…

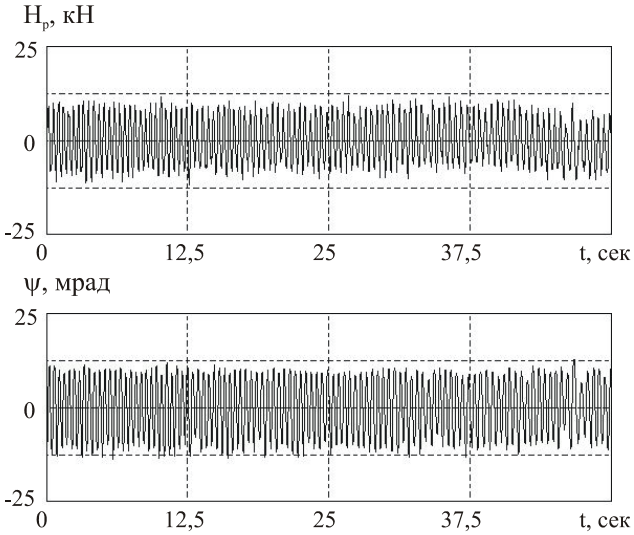


Рис. 3. При скорости $v = v_{\text{к}}$ виляния со значительными амплитудами не затухают, но поперечные силы небольшие

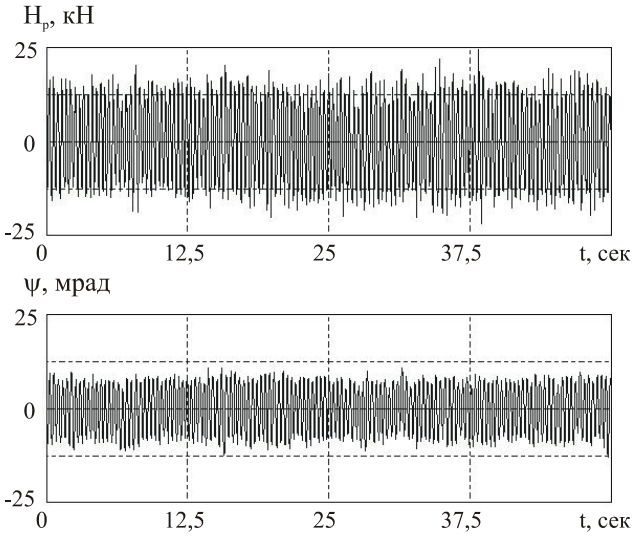


Рис. 4. При скоростях $v > v_{\text{к}}$ поперечные силы возрастают значительно

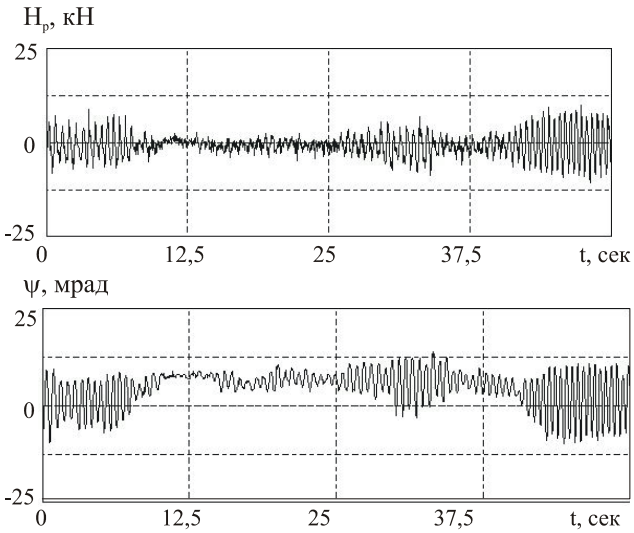


Рис. 5. При $v = v_{\text{к}}$ в кривой виляние прекращается

Пример 2. Ошибки в данном примере связаны с тем, что у испытателя не было достаточно подробной модели динамического нагружения деталей подвижного состава.

Как известно [3], для циклического растяжения-сжатия и для циклического изгиба нормируется предел усталости σ_{-1} (σ_{-1} для циклического растяжения-сжатия несколько отличается от σ_{-1} для циклического изгиба), а для циклического кручения нормируется τ_{-1}.

При помощи тензодатчиков можно померить напряжения, но не тип нагружения, например, невозможно определить, имело ли место циклическое растяжение-сжатие по нескольким осям одновременно или повторяющиеся (возможно, попеременно) изгиб и кручение. При помощи трёхэлементной розетки деформаций несложно зарегистрировать нормальные и касательные напряжения в плоскости розетки, а по ним определить расположенную не в плоскости розетки площадку, в которой имеет место наибольшая усталостная наработка по нормальным напряжениям [4 – 6]. Между тем, хотя при помощи датчиков будут зафиксированы примерно одинаковые усталостные наработки, при наличии циклического кручения трещины в детали появятся значительно раньше, чем при циклическом растяжении-сжатии или изгибе [5]. Иногда только по направлению усталостных трещин удается определить присутствие в нагружении циклического кручения, что позволяет объяснить «слишком раннее» разрушение детали.

На рис. 6 приведена схема циклического изгибного нагружения вращающегося вала. Здесь 1 – двигатель, 2 – вращающийся вал непостоянного сечения, 3 – подшипник, 4 – элементы станины, F — вертикальная сила (подвешенный на вал груз). На рис. 7 приведена фотография усталостного излома вала циклическим изгибным нагружением, соответствующим рис. 6. Излом практически перпендикулярен оси детали.

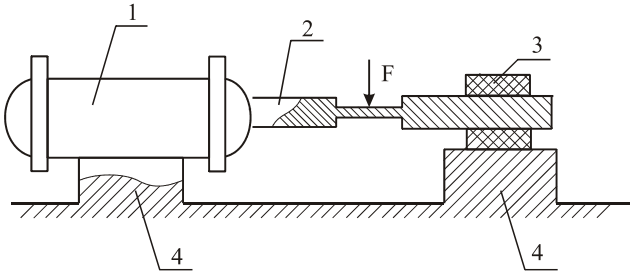


Рис. 6. Схема циклического изгибного нагружения вращающегося вала



Рис. 7. Усталостное разрушение вала циклическим изгибным нагружением

На рис. 8, 9 приведены фотографии усталостных разрушений валов совместными и попеременными циклическими изгибным и крутильным нагружениями. Усталостные трещины – продольные или преимущественно продольные.

Пояснения к сказанному выше

Как известно [7], под усталостью понимают процесс постепенного накопления повреждений материала при действии повторно-переменных (циклических) напряжений, не достигающих предела прочности. Усталость металлов проявляется в возникновении и развитии трещин. При этом задолго до появления трещин усталости в металле накапливаются необратимые изменения. Поскольку завершающий этап усталостного разрушения напоминает по внешнему виду хрупкое разрушение [7], то чаще всего считают, что усталость металла определяется только нормальными напряжениями.

Свободная плоская поверхность несущей конструкции испытывает плоское напряженное и трехмерное деформированное состояние. Тензоры напряжений и деформаций в случае плоского напряженного состояния соответственно:

$$T_\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{x,y} & 0 \\ \tau_{x,y} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$T_\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{x,y}/2 & 0 \\ \gamma_{x,y}/2 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{bmatrix}.$$

Поскольку [7] напряжения σ_x, σ_y и $\tau_{x,y} = \tau$ от деформации ε_z не зависят, для регистрации плоского напряженного состояния используется розетка деформаций.



Рис. 8. Усталостное разрушение образца из низколегированной стали чередующимися циклическими изгибным и крутильным нагружениями. Трещины преимущественно продольные



Рис. 9. Усталостное разрушение образца циклическим изгибно-крутильным нагружением. Трещины продольные

В ходовых испытаниях железнодорожных вагонов трёхэлементной розеткой деформаций регистрируются процессы $x_1(t)$, $x_2(t)$ и $x_3(t)$. При этом обычно $x_1(t)$ и $x_2(t)$ регистрируются тензодатчиками, ориентированными во взаимно перпендикулярных направлениях, а $x_3(t)$ регистрируется тензодатчиком, ориентированным вдоль биссектрисы угла между направлениями измерения $x_1(t)$ и $x_2(t)$. Динамические добавки деформаций регистрируются, безусловно, правильно. Нулевые уровни деформаций медленно смещаются относительно своего первоначального положения (в том числе и вследствие дрейфа нулей тензоусилителей). Для компенсации дрейфа нулей процессы $\underset{i=1}{\overset{3}{\forall}} x_i(t)$ необходимо центрировать. Для центрирования при прохождении испытательным поездом прямых участков пути определяются средние значения [8] процессов $\underset{i=1}{\overset{3}{\forall}} x_i(t)$:

$$m_i = \frac{1}{T}\int_0^T x_i(t)\,dt\,.$$

Центрирование в прямых участках пути заключается в вычитании из $x_i(t)$ величины m_i, соответствующей данному участку, а центрирование в кривых участках пути и при прохождении стрелок – в вычитании величины m_i, зарегистрированной в ближайшей к данному участку прямой. Символом T обозначена длительность процесса $x_i(t)$ (время прохождения испытательным сцепом данного прямого участка пути). Значение деформации $\varepsilon_i(t)$ смещено относительно центрированного процесса $\left(x_i(t) - m_i\right)$ на статическую составляющую деформации $X_{\text{ст},i}$:

$$\underset{i=1}{\overset{3}{\forall}} \varepsilon_i(t) = x_i(t) - m_i + X_{\text{ст},i}\,.$$

Обычно значение $X_{\text{ст},i}$ определяется расчетным путем. Иногда (например, в случае одноосного растяжения или сжатия) удается определить значение $X_{\text{ст},i}$ прямыми или косвенными измерениями.

Нормальные и касательные напряжения плоского напряженного состояния в плоскости розетки определяются согласно зависимостям [7, 9]:

$$\sigma_x(t) = A\cdot(\varepsilon_1(t) + \mu\cdot\varepsilon_2(t))\,;$$

$$\sigma_y(t) = A\cdot(\varepsilon_2(t) + \mu\cdot\varepsilon_1(t))\,,$$

$$\tau(t) = B\cdot(2\cdot\varepsilon_3(t) - \varepsilon_1(t) - \varepsilon_2(t))\,,$$

где $A = E/(1-\mu^2)$; $B = 0{,}5\cdot E/(1+\mu)$; E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона.

Нормальные и касательные напряжения (σ_v и τ_v) в площадках, определяемых перпендикулярным к этим площадкам вектором $\vec{\nu} = \begin{bmatrix}\cos(\nu,x)\\ \cos(\nu,y)\\ \cos(\nu,z)\end{bmatrix}$, определятся зависимостями [9]:

$$\sigma_\nu(t) = \vec{\nu}'\cdot\begin{bmatrix}\sigma_x & \tau_{x,y} & 0\\ \tau_{x,y} & \sigma_y & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\cdot\vec{\nu} =$$

$$= \sigma_x(t)\cdot\cos^2(\nu,x) + \sigma_y(t)\cdot\cos^2(\nu,y) +$$

$$+ 2\cdot\tau_{x,y}(t)\cdot\cos(\nu,x)\cdot\cos(\nu,y)\,;$$

$$\vec{\tau}_{\nu}(t)=\begin{bmatrix}\sigma_x & \tau_{x,y} & 0\\ \tau_{x,y} & \sigma_y & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\cdot\vec{\nu}-\sigma_{\nu}(t)\cdot\vec{\nu}.$$

Здесь $\vec{\nu}'$ – матрица-строка (транспонированная матрица-столбец $\vec{\nu}$); (ν,x) и (ν,y) – углы между вектором $\vec{\nu}$ и положительными направлениями осей датчиков, фиксирующих процессы $\varepsilon_1(t)$ и $\varepsilon_2(t)$, (ν,z) – угол между вектором $\vec{\nu}$ и перпендикуляром к плоскости розетки [8, 10], нормальное напряжение σ_{ν} – скаляр, касательное напряжение $\vec{\tau}_{\nu}$ – вектор;

$$\cos^2(\nu,x)+\cos^2(\nu,y)+\cos^2(\nu,z)=1.$$

Для оценки усталостной прочности деталей из малоуглеродистых и низколегированных сталей достаточно часто [9, 11, 12] предлагается пользоваться кривой Велера, которая строится в предположении, что

$$\sum_k \sigma_k^m\cdot N_k=\sigma_{-1}^m\cdot N_0=\text{const},$$

где σ_k - напряжение, соответствующее классу k [13] (интервалу напряжений

$$[\sigma_k-\Delta K/2;\sigma_k+\Delta K/2),$$

где ΔK – ширина класса; обычно ΔK = 2 МПа или ΔK = 4 МПа) [4], N_k - количество приведенных к симметричным полных циклов колебаний напряжения [12, 13] класса k [13] (приведенных к размаху $(-\sigma_k)\le\sigma\le(+\sigma_k)$), σ_{-1} – предел усталости по нормальным напряжениям при изгибе, $\sum_k N_k$ – количество полных циклов изменения напряжения (всех классов) до полного разрушения, N_0 - базовое количество полных циклов изменения напряжения (размаха $(-\sigma_{-1})\le\sigma\le(+\sigma_{-1})$) до полного разрушения; показатель степени m в [9] называется параметром циклической трещиностойкости металла. Для сварных и литых рам и балок в зависимости от материала Нормы [1] предлагают принимать: $m\approx 4$ для малоуглеродистых сталей, $m\approx 4{,}5$ для низколегированных сталей.

Приведение цикла напряжений к симметричному осуществляется следующим образом. После «выделения экстремумов» реализация $\sigma_v(t)$ схематизируется по методу «дождя» [12, 13]. При этом из реализации последовательно выделяются размахи полуциклов $2X_a$ (полуразмах – «амплитуда» – полуцикла: X_a) и средние значения в полуциклах X_M, после чего асимметричные циклы нагружения приводятся к эквивалентным симметричным [13]:

$$X_{\text{пр}}=\begin{cases}X_a+\psi X_M & \Leftarrow X_M>0;\\ X_a & \Leftarrow X_M\le 0.\end{cases}$$

Согласно [14], коэффициент асимметрии цикла нагружения определяется выражением

$$\psi=\left(0{,}02+2\cdot10^{-4}\cdot\sigma_{\text{в}}\right)/K_K.$$

Здесь $\sigma_{\text{В}}$ – предел прочности, измеряемый в МПа. Коэффициент K_K, учитывающий влияние концентрации напряжений, нормируется в [1]. Если предел усталостной прочности детали (σ_{-1}/K_K) известен, то для легированных сталей согласно [14] допускается определять коэффициент асимметрии цикла нагружения из выражения $\psi=(\sigma_{-1}/K_K)/\left(2\sigma_{\text{В}}-(\sigma_{-1}/K_K)\right)$. Здесь σ_{-1} измеряется в МПа.

Пробег до разрушения S км по изложенной методике определяется следующим образом. На участке длиной L_j определяется усталостная наработка $\sum_k \sigma_k^m\cdot N_k^{(j)}$, где $N_k^{(j)}$ – количество приведенных к симметричным полных циклов колебаний напряжения класса k на участке L_j. Тогда $S=\dfrac{\sigma_{-1}^m\cdot N_0\cdot L_j}{(n\cdot K_K)^m\cdot\sum_k \sigma_k^m\cdot N_k^{(j)}}$, где n – коэффициент запаса [1], K_K – коэффициент, учитывающий влияние концентрации напряжений [1].

Пример 3. В данном примере испытатели при проектировании измерительной аппаратуры ориентировались на модель грузового железнодорожного вагона, которая, как выяснилось, была излишне идеализированной.

Измерение вертикальных усилий тензодатчиками, расположенными на боковине тележки грузового вагона, при неразмагниченных после магнитной дефектоскопии колесах приводит к появлению наводки $e(t)$ синусоидальной формы, частота и амплитуда которой прямо пропорциональны скорости движения вагона.

Запитать тензомосты (измерительную часть тензостанции) можно постоянным напряжением (рис. 10), как в аппаратуре ТМА-32 [15], или переменным (рис. 11), как в аппаратуре 8АНЧ [16]. На обоих рисунках u – питание тензомоста, $u_{\text{вых}}$ – выходное напряжение измерите-

ной схемы, R_1 — компенсационный тензорезистор, R_2 – измерительный тензорезистор, R_0 и R_{01} – вспомогательные резисторы.

При питании тензомоста постоянным напряжением после балансировки

$$u_{\text{вых}} = \frac{u \cdot R_2}{R_1 + R_2} - \frac{u \cdot R_{01}}{R_{01} + R_0} = 0.$$

При измерении растяжения/сжатия элемента нагружаемой детали сопротивление резистора R_2 становится $R_2 + \Delta R$, а выходное напряжение тензомоста

$$u_{\text{вых}} = \frac{u \cdot (R_2 + \Delta R)}{R_1 + R_2 + \Delta R} - \frac{u \cdot R_{01}}{R_{01} + R_0} =$$

$$= u \cdot \left(\frac{R_2 \cdot (R_{01} + R_0) - R_{01} \cdot (R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2 + \Delta R) \cdot (R_{01} + R_0)} + \right.$$

$$\left. + \frac{\Delta R \cdot (R_{01} + R_0) - \Delta R \cdot R_{01}}{(R_1 + R_2 + \Delta R) \cdot (R_{01} + R_0)} \right) \approx$$

$$\approx \frac{u \cdot \Delta R \cdot R_0}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{01} + R_0)}.$$

При наличии помехи $e(t)$, включённой последовательно с сопротивлением R_2 (рис. 12), выходное напряжение тензомоста

$$u_{\text{вых}} = \frac{u \cdot (R_2 + \Delta R)}{R_1 + R_2 + \Delta R} + e(t) - \frac{u \cdot R_{01}}{R_{01} + R_0} \approx$$

$$\approx \frac{u \cdot \Delta R \cdot R_0}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{01} + R_0)} + e(t).$$

Таким образом, если

$$e(t) >> \frac{u \cdot \Delta R \cdot R_0}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{01} + R_0)},$$

наводка может маскировать измеряемый сигнал. Что и наблюдалось во время испытаний грузовых вагонов с неразмагниченными после магнитной дефектоскопии колесами при использовании для измерений тензостанции ТМА-32.

При питании тензомоста переменным напряжением после балансировки, как и в предыдущем случае, $u_{\text{вых}} = 0$. При измерении растяжения/сжатия элемента нагружаемой детали сопротивление резистора R_2 становится $R_2 + \Delta R$, а выходное напряжение трансформатора

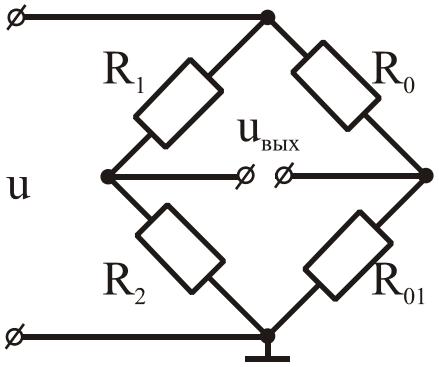


Рис. 10. Мостовая схема тензоизмерений с питанием постоянным напряжением

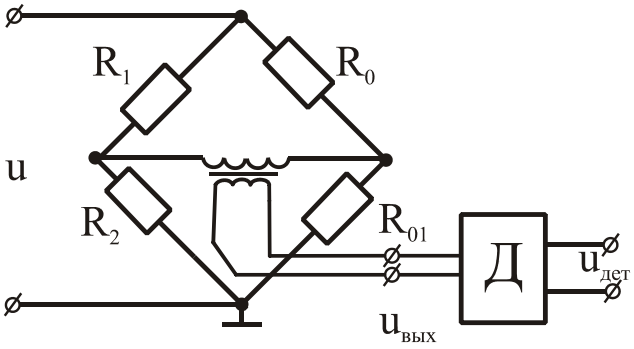


Рис. 11. Мостовая схема тензоизмерений с питанием переменным напряжением. Д – детектирующее устройство

$$u_{\text{вых}} \approx k_\omega \cdot \frac{u \cdot \Delta R \cdot R_0}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{01} + R_0)}.$$

Здесь k_ω – коэффициент трансформации на несущей частоте ω. При наличии помехи $e(t)$, включённой последовательно с сопротивлением R_2, выходное напряжение трансформатора

$$u_{\text{вых}} \approx k_\omega \cdot \frac{u \cdot \Delta R \cdot R_0}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{01} + R_0)} + k_e \cdot e(t).$$

При достаточно большом k_ω, если ω значительно больше частоты синусоиды сигнала $e(t)$, а следовательно и $k_\omega >> k_e$, выходное напряжение трансформатора (до детектирования)

$$u_{\text{вых}} \approx k_\omega \cdot \frac{u \cdot \Delta R \cdot R_0}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{01} + R_0)}.$$

Таким образом, если бы для измерений в описанных выше испытаниях использовалась аппаратура 8АНЧ, а не ТМА-32, маскирования измеряемого сигнала не наблюдалось бы.

Выводы

1. Из-за излишней идеализации модели на вопрос, поставленный после численного экспе-

римента, иногда невозможно ответить в натурных испытаниях.

2. Без достаточно глубокого предварительного анализа на модели иногда после натурных испытаний не удаётся ответить на поставленный испытателю вопрос.

3. Если в модель исследуемого процесса не был введен один из аргументов реального процесса, то, ориентируясь на результаты численного эксперимента, возможно, не удастся даже произвести измерения в натурных испытаниях.

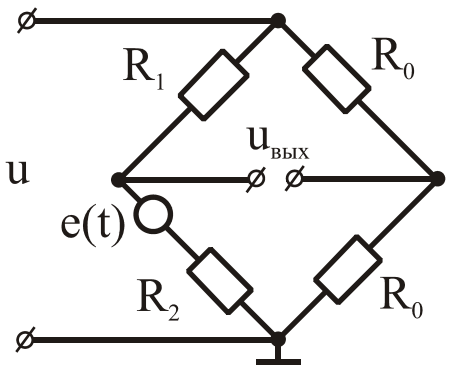


Рис. 12. Схема измерения, учитывающая помеху (наводку от магнитного колеса)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
2. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса. [Текст, CD-ROM] / У. Дж. Харрис [и др.] – 1-е изд. – США: Межд. ассоциация тяжеловесного движения, 2808 Форест-Хилл-корт, Виргиния-Бич, шт. Виргиния, 23454 США / Издание на рус. яз. – М.: Интекст, 2002. – 408 с.
3. Справочник машиностроителя [Текст]. – Т. 3 / Е. А. Чудаков – председатель ред. совета; под ред. С. В. Серенсена и Н. С. Ачеркана. – М.: Гос. науч.-тех. изд-во машиностроительной лит-ры, 1951. - 1098 с.
4. Определение по результатам ходовых испытаний усталостной прочности несущих конструкций железнодорожных вагонов [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 8. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005. – С. 26-34.
5. К вопросу об оценке усталостной прочности деталей из малоуглеродистых и низколегированных сталей при циклическом нагружении [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. - С. 119-127.
6. Механика разрушения и прочность материалов [Текст] : справ. пособие / О. Н. Романив [и др.] – Т. 4. Усталостная и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. – К.: Наук. думка, 1990. – 680 с.
7. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений [Текст] : справ. пособие / Б. С. Касаткин [и др.] – К.: Наук. думка, 1981. - 584 с.
8. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1968. - 720 с.
9. Гусев, А. С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках [Текст] / А. С. Гусев. - М.: Машиностроение, 1989. - 248 с.
10. Справочник машиностроителя [Текст] / под ред. Е. А. Чудакова. – Т. 1. - М.: Гос. науч.-тех. изд-во машиностроительной лит-ры, 1951. – 1036 с.
11. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества [Текст] : Введ. в действие 01.07.1996. – М.: ГосНИИВ, 1995. - 101 с.
12. Когаев, В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность [Текст] / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. - М.: Машиностроение, 1985. – 223 с.
13. ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов [Текст].
14. ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости [Текст].
15. 32-канальная тензометрическая аппаратура. Техническое описание и инструкция по обслуживанию [Текст]. – 2004. – 32 с.
16. Аппаратура тензометрическая на несущей частоте 8АНЧ-23. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 9А2.782.003 ТО [Текст]. – 1989. – 133 с.

Поступила в редколлегию 21.06.2010.
Принята к печати 29.06.2010.

УДК 629.463.3.001.4

О. В. ШАТУНОВ, М. А. ГРІЧАНИЙ, П. О. ЯГОДА, В. Ю. ПІДЛУБНИЙ,
О. А. АНДРЕЄВ (ДІІТ)

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕГЛЯДУ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦИСТЕРН МОДЕЛІ 15-440 ТА 15-1597

У статті представлено результати теоретичних і експериментальних досліджень напруженого стану конструкції рами і кузова цистерн моделі 15-440 і 15-1597.

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований напряженного состояния конструкции рамы и кузова цистерн модели 15-440 и 15-1597.

In the article the results of theoretical and experimental researches of the stressed state of structure of frame and body of tank models 15-440 and 15-1597 are presented.

Сучасний залізничний транспорт є лідируючою галуззю на ринку транспортних перевезень, що обумовлено розгалуженістю його залізничної мережі, високою пропускною спроможністю та величезним за номенклатурою та кількістю парком вагонів, що дозволяють задовольнити практично будь-які вимоги вантажовідправника. Проте спад рівня виробництва і відсутність фінансування з боку держави викликало проблему підтримки парку вантажних вагонів у відповідному стані. Ситуація посилюється також тим, що нові вагони не купуються у необхідній кількості, а це приводить до скорочення існуючого парку вантажних вагонів внаслідок закінчення їх терміну служби.

Для подолання цього явища останніми роками здійснюється масштабна державна програма, що направлена на підтримку парку вантажних вагонів, при цьому розглядаються наступні напрями:

- модернізація конструкції вагонів з метою збільшення терміну їх служби;
- розробка і впровадження нових вузлів і деталей на існуючий рухомий склад для підвищення його довговічності та міцності;
- зменшення подовжніх навантажень, що діє на вагон в експлуатації;
- перегляд термінів експлуатації вагонів з метою збільшення нормативного терміну їх експлуатації.

На погляд авторів, найбільш раціональним і затребуваним напрямом є перегляд термінів експлуатації вагонів.

Галузева науково-дослідна лабораторія вагонів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна за підтримки Укрзалізниці і ВАТ «Рівноазот» в другому півріччі 2008 року виконала комплекс необхідних теоретичних і експериментальних досліджень цистерн моделі 15-440 і 15-1597 (власності ВАТ «Рівноазот») з метою перегляду термінів їх експлуатації.

При проведенні теоретичних досліджень були розглянуті й вирішені наступні завдання:

- на підставі умов експлуатації, технічних характеристик і конструктивних особливостей для проведення подальших розрахунків було вибрано модель 15-1597;
- проведено розрахунок величин діючих навантажень і вибір схем їх застосування;
- проведено розрахунок напруженого стану рами і кузова цистерни моделі 15-1597 методом кінцевих елементів для I та III розрахункового режиму, згідно вимог «Норм...» [1].

Результати розрахунку напруженого стану рами цистерни у контрольних перетинах (рис. 1) представлено на рис. 2 та 3.

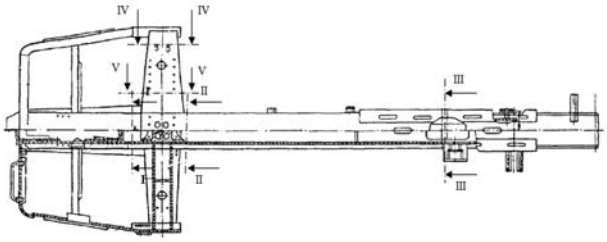


Рис. 1. Контрольні перетини на рамі цистерни

З метою визначення залишкового ресурсу і рівня напружень у несучих конструкціях цистерн від дії вертикального статичного навантаження і під час подовжніх ударних навантажень, випробувальна лабораторія вагонів провела експериментальні випробування цистерн моделі 15-1440 і 15-1597, що були побудовані у 1980 році, на візках типу 18-100 в обсязі, передбаченому програмою і методикою випробу-

© Шатунов О. В., Грічаний М. А., Ягода П. О., Підлубний В. Ю., Андреєв О. А., 2010

вань «ПМ 11-08/ВЛВ» і «ПМ 15-08/ВЛВ» від 14 травня 2008 р.

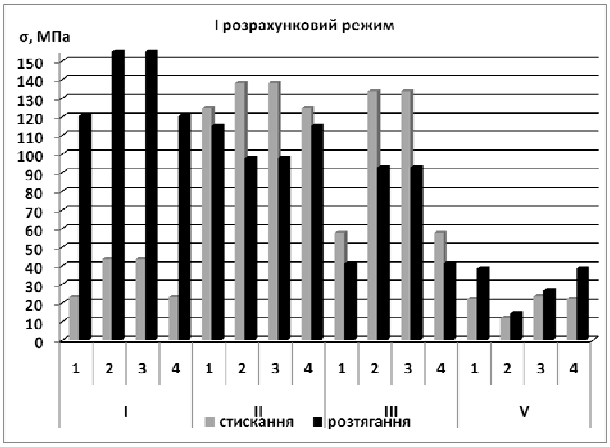


Рис. 2. Графік рівня розрахункових напружень в дослідних перетинах цистерни

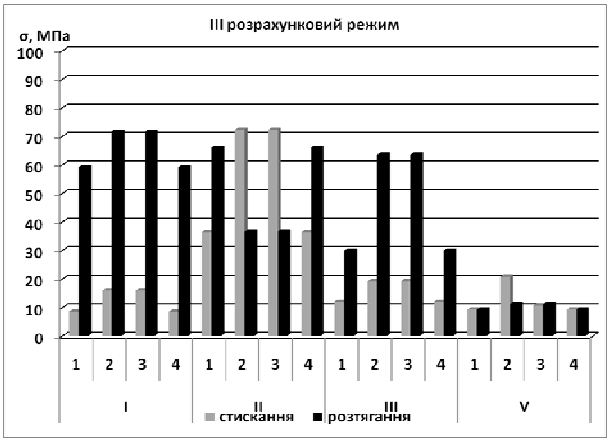


Рис. 3. Графік рівня розрахункових напружень в дослідних перетинах цистерни

Для експериментального визначення напружень в конструкціях цистерн (місця установки тензодатчиків і їх позначення вказані на рис. 4), від дії вертикального статичного навантаження, вагони були завантажені водою до повного заповнення котла з подальшим розвантаженням (для проведення «обтиску» датчиків). Далі цистерни двічі піддавалися циклу повного навантаження-розвантаження водою до ваги 31 т для цистерни моделі 15-1440 і 43 т для цистерни моделі 15-1597.

Для визначення ресурсу цистерн та напруженого стану їх несучих конструкцій під час поздовжніх ударних навантажень цистерни піддавалися поздовжнім ударним навантаженням одна об одну, в обсязі, наведеному в табл. 1 та 2.

Враховуючи корозійні пошкодження та втому несучої конструкції цистерн моделі 15-1440 та 15-1597 власності ВАТ «Рівноазот» в попередній експлуатації, а також керуючись гіпотезою лінійного підсумовування пошкоджень за критерієм опору втоми [2] та виходячи з результатів ресурсних випробувань, додатковий термін їх наднормативного терміну служби повинен бути не більш ніж 6 років.

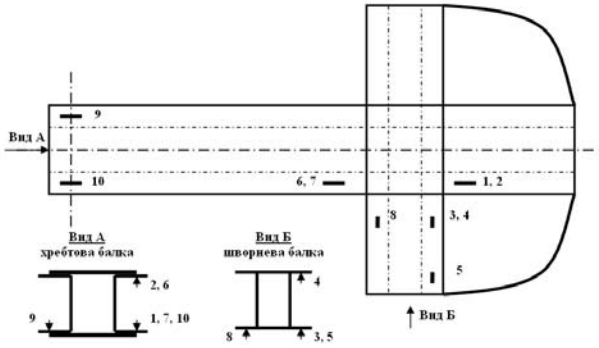


Рис. 4. Схема розташування датчиків на рамі вагона

Таблиця 1

Подовжні зусилля в тензометричних автозчіпках цистерни моделі 15-1440 під час співударів

Поздовжня сила, МН	Проведена кількість співударів	Загальне напрацювання під час випробувань, $МН^5$
від 0,1 до 0,4	396	
від 0,4 до 0,8	449	
від 0,8 до 1,2	467	
від 1,2 до 1,6	345	
від 1,6 до 2,0	201	
від 2,0 до 2,4	82	16278,40
від 2,4 до 2,8	19	
від 2,8 до 3,2	5	
від 3,2 до 3,6	0	
понад 3,6	0	
Разом	1964	

Для визначення збіжності результатів експериментальних випробувань з результатами теоретичних розрахунків напруженого стану несучих конструкції цистерн моделі 15-1597 розглянемо напруження, отримані під час випробувань у місцях встановлення первинних датчиків (див. рис. 4) та розрахункові максимальні напруження від стискання в цих місцях (див. рис. 1).

Розбіжності отриманих результатів відображені на рис. 5, 6.

Таблиця 2

Подовжні зусилля в тензометричних автозчіпках цистерни моделі 15-1597 під час співударів

Поздовжня сила, МН	Проведена кількість співударів	Загальне напрацювання під час випробувань, МН[5]
від 0,1 до 0,4	357	
від 0,4 до 0,8	395	
від 0,8 до 1,2	451	
від 1,2 до 1,6	475	
від 1,6 до 2,0	172	
від 2,0 до 2,4	75	16639,51
від 2,4 до 2,8	35	
від 2,8 до 3,2	4	
від 3,2 до 3,6	0	
понад 3,6	0	
Разом	1964	

ВИСНОВКИ

Аналіз нижченаведених графіків збіжності результатів експериментальних випробувань із теоретичними розрахунками дозволяють впевнено стверджувати про збіжність теоретичного розрахунку з експериментом. На підставі цього робимо висновок, що теоретична модель цистерни цілком відповідає її реальній конструкції. Це дає обґрунтовану підставу стверджувати, що під час експериментальних випробувань у несучих елементах конструкції, що не були обладнані тензодатчиками, напруження не перевищували допустимих, що передбачені вимогами [1].

На підставі вищезазначеного можливо зробити висновок, що перегляд термінів експлуатації вагонів з метою збільшення нормативного терміну їх експлуатації є раціональним та цілком обґрунтованим.

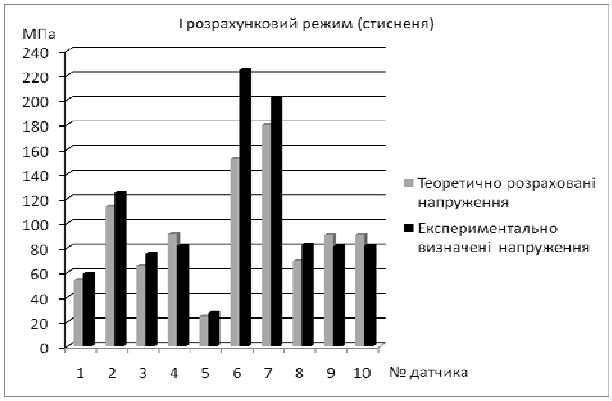


Рис. 5. Графік відношення теоретично розрахованих напружень до напружень, отриманих під час експериментальних випробувань

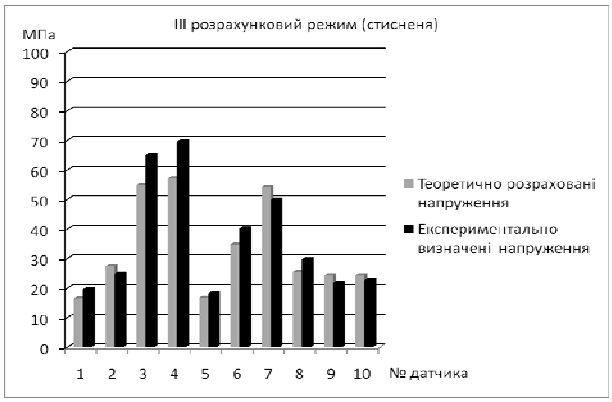


Рис. 6. Графік відношення теоретично розрахованих напружень до напружень, отриманих під час експериментальних випробувань

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
2. Вагоны грузовые. Ресурсные испытания в режиме многократных соударений. Типовая программа и методика. ТПМ 001-90 [Текст]. – ВНИИВ-ДИИТ, 1990.

Надійшла до редколегії 31.03.2010.
Прийнята до друку 08.04.2010.

УДК 29.4.027

В. В. АРТЕМЧУК (ДІІТ)

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ

У статті розглянуто особливості технологій нанесення газотермічних відновлювальних покриттів. Проведено порівняний аналіз основних методів газотермічного напилення за деякими показниками, а також наведено приклади використання сучасних напилюваних матеріалів. Показано вплив деяких технологічних факторів на показники якості процесів газотермічного напилення.

В статье рассмотрены особенности технологий нанесения газотермических покрытий. Проведен сравненный анализ основных методов газотермического напыления по некоторым показателям, а также приведены примеры использования современных напыляемых материалов. Показано влияние некоторых технологических факторов на показатели качества процессов газотермического напыления.

Features of technologies of putting the gas-thermal coatings are considered in the article. Some examples of using the modern sprayed materials are presented as well as the comparative analysis of basic methods of gas-thermal spraying is conducted on some indices. The influence of some technologic factors on the quality indices of processes of gas-thermal spraying is demonstrated.

Відновлення зношених деталей різних машин і механізмів є складною науковою проблемою, яка вимагає системного підходу. Починаючи з аналізу умов роботи деталей, характеру та виду зношування, необхідно визначити доцільні технології відновлення деталей, наприклад, наплавленням, напиленням, гальванічними або іншими методами. У той же час і серед вище названих технологій може бути декілька варіантів, що потребує обґрунтування при їх виборі. Таким чином, для уявлення та вибору технології необхідно проводити їх порівняльний аналіз.

Як відомо, деталі рухомого складу залізниці працюють у важких умовах. Серед деталей, що зношуються багато таких, що мають циліндричну форму. Наприклад, сумарна кількість валиків гальмівної важільної передачі, підвісу редуктора, гідроамортизаторів, ресорного підвішування, підвісу тягових електричних двигунів для електровозів ЧС-7, ЧС-8 складає 426 од., ВЛ-80 – 272 од., ЧС 2 – 310 од. Враховуючи середню вартість валиків 32 грн, нескладно підрахувати економічну доцільність їх відновлення, якщо вартість відновлення складає не більше 20…40 % від вартості нових деталей.

Серед відновлювальних технологій для нанесення покриттів на зношені валики доцільно використовувати електролітичні методи та методи газотермічного напилення. Розглянемо та порівняємо методи газотермічного напилення (ГТН) більш детально.

Умовно методи газотермічного напилення можна поділити на електродугову металізацію, газополум'яний, плазмовий та детонаційний. До того ж, перераховані методи доповнюються застосуванням надзвуку. Сучасні методи ГТН покриттів дозволяють здійснювати процес в атмосфері, в середовищі захисного газу, у вакуумі, а також під водою. Практично всі матеріали, що використовують при ГТН, тією чи іншою мірою чутливі до складу середовища, в якому формується покриття [1 – 4].

Для надзвукового плазмового і особливо для детонаційного методу характерна вища дисперсність структури покриття. Надзвукове плазмове покриття відрізняється найбільш високим вмістом аморфної фази та мінімальним змістом пор і оксидних включень, розташованих по межах частинок, тоді як в детонаційному покритті знаходиться підвищена кількість оксидних частинок і достатньо товстих плівок. Гарне прилягання до основи і висока щільність обумовлюють високу міцність зчеплення (62...67 МПа) надзвукового плазмового покриття з основою (табл. 1).

Дозвукове плазмове покриття відрізняється грубішою структурою, невеликою пористістю і нижчими значеннями міцності зчеплення з основою (18...28 МПа) при використанні як плазмоутворюючого газу аргоно-водневої суміші та 32…33 МПа – суміші повітря з пропан-бутаном [5].

Таким чином, при різних методах напилення у міру зміни швидкості й температури частинок спостерігалися відмінності в ступені аморфізації, хімічному складі, зокрема в змісті кисню, пористості та мікроструктурі покриттів в цілому, що зумовило відмінність їх фізико-механічних і корозійних властивостей.

© Артемчук В. В., 2010

Таблиця 1

Характеристика газотермічних покриттів з порошків сплаву Fe-Ni-Cr-Mo-B-Si

Метод напилення	Фазовий склад	Мікротвердість, МПа	Ступінь аморфізації, %	Міцність зчеплення, МПа
Плазмовий (аргон+водень)	α-Fe+АФ+Fe_2B	2700…5500 (α-Fe) 5500…12500 (АФ)	65	18…28
Плазмовий (повітря+пропан-бутан)	α-Fe+АФ+Fe_2B	4200…7100 (α-Fe) 7500…9900 (АФ)	70	32…33
Надзвуковий плазмовий (повітря+метан)	α-Fe+АФ+Fe_2B+γ-Fe	3000…6600 (α-Fe) 7800…8200 (АФ)	75	62…67
Детонаційний (кисень+пропан-бутан)	α-Fe+АФ+γ-Fe+FeO	2600…4900 (α-Fe) 4400…9300 (АФ)	60	-

Примітка: масова доля елементів сплаву така: 5 % Ni, 18 % Cr, 5,5 % Mo, 4,5 % B, 6,5 % Si; АФ – аморфна фаза.

Вплив методу напилення на структуру і властивості захисних покриттів найяскравіше виявляється при використанні порошків складного складу, наприклад карбідів з металевою зв'язкою, до яких відноситься відома система WC-Co.

Основними методами ГТН порошків WC-Co є газополум'яний, плазмовий, детонаційний, надзвуковий плазмовий, надзвуковий газополум'яний («Джет-коут») і плазмове напилення в динамічному вакуумі.

З погляду обмеження протікання фізико-хімічної взаємодії при напиленні покриттів, до технологічного процесу слід пред'явити такі вимоги: зниження температури джерела тепла до мінімально необхідного для нагріву частинок; зменшення часу перебування частинки в плазмі або полум'ї, тобто збільшення швидкості руху частинок; проведення процесу в середовищі, що не має окислювальної здатності.

Найменш відповідними в цьому сенсі є методи газополум'яного і плазмового напилення на повітрі. Детонаційному напиленню притаманні високі швидкості переміщення частинок, проте наявність кисню в газовій суміші приводить до протікання окислювальних процесів. Плазмове напилення в динамічному вакуумі виключає процеси окислення, але знижений тиск при високих температурах може стимулювати процес декарбідизації.

Метод надзвукового газополум'яного напилення забезпечує порівняно низькі температури, високі швидкості, проте не виключає вплив кисню. Надзвукове плазмове напилення припускає вищі, ніж для методу «Джет-коут», температури, великі швидкості напилення і наявність (у разі повітряно-газового методу) у плазмоутворюючій суміші кисню. У той же час при використанні надзвукових методів у зв'язку з малим часом перебування частинок порошку в полум'ї або плазмі процеси окислення не встигають істотно розвинутися.

В даний час важко однозначно віддати перевагу якому-небудь з методів, тим більше, що результат багато в чому залежить від оптимізації параметрів напилення.

Переваги методу «Джет-коут» розглянуті у роботі [3]. Зазначено, що даний метод забезпечує збереження в покритті WC, а фази W_2C та Co_3W_3C виявлені в невеликих кількостях. Механічні властивості покриттів в цьому випадку виявилися вищими, ніж при напиленні в плазмі, в динамічному вакуумі або методом детонації. Зокрема йде мова про високі адгезійні та когезійні властивості, а також відсутність вираженої шаруватої структури покриттів. Отриманий ефект пояснюється низькою робочою температурою (до 3000 °С) і великими (до 500 м/с) швидкостями руху частинок.

Відзначена також висока якість покриттів WC-Co, отриманих методом «Джет-коут». Покриття відрізняються високою щільністю, твердістю, міцністю зчеплення з основою і збереженням значної масової частки (%) WC. На думку авторів, ці результати кращі, ніж при плазмовому напиленні навіть в динамічному вакуумі, а щільність покриттів близька до покриттів отриманих при використанні детонаційного методу.

У роботі [4] також наводяться переваги методу «Джет-коут». Розглянуті такі способи напилення: «Джет-коут» із застосуванням суміші «кисень-пропан» (J-K Pr); плазмове напилення в динамічному вакуумі із застосуванням суміші «аргон-гелій» (VPS He); плазмове напилення в динамічному вакуумі із застосуванням суміші «аргон-водень» з низьким змістом водню (VPS h2); плазмове напилення в динамічному вакуумі із застосуванням суміші «аргон+водень» (VPS H2); плазмове напилення на повітрі із застосуванням суміші «аргон-гелій» (Aps He); плазмове напилення на повітрі із застосуванням суміші «аргон-водень» (Aps H2).

Змінюючи співвідношення цих компонентів, значення електричної потужності, що подається на плазмотрон, і витрату плазмоутворюючого газу, можна ефективно керувати плазмовим струменем, змінюючи його швидкість, протяжність, тепловміст і склад середовища.

У роботі [5] описано апаратуру і технологію металізації електродуги, при якій розпилювання дротів здійснюється під впливом надзвукового потоку гарячих продуктів згоряння природного газу (7…15 %) з повітрям.

Проведено порівняння властивостей (табл. 2) покриттів (склад дроту не наведений), напилених на оптимальних режимах різними способами: надзвукової електродугової металізації, плазмово-дугового напилення; типової електродугової металізації.

Таблиця 2

Залежність властивостей покриттів від методу напилення

Спосіб нанесення покриття	Пористість, %	Твердість, HRC	Мікротвердість фази, МПа		Міцність зчеплення, МПа
			світла	темна	
Типова електродугова металізація	10…12	22…25	900	11000	35
Надзвукова електродугова металізація	2…3	35…37	1200	16000	65
Плазмово-дугова металізація	6…8	28…30	1000	13000	50

Забезпечення при надзвуковій електродуговій металізації високої стабільності горіння дуги завдяки орієнтації уздовж газового потоку, а, отже, процесу передачі теплоти в плавкі електроди, інтенсивний розгін і дроблення частинок розплавленого металу, їх захист від окислення у польоті і зниження кількості матеріалу, що випарувався, дозволили істотно поліпшити властивості напиленого покриття.

При виборі режиму повинні враховуватися техніко-економічні показники процесу. Економічність процесу оцінюють коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ), ефективністю використання енергії, а також продуктивністю [6].

На процес ГТН покриттів, на його якість безпосередньо або побічно впливає безліч чинників. За оцінками різних дослідників, їх кількість коливається від 20 до 60. У цих умовах важливим є, з одного боку, вибір параметрів процесу формування покриття, а з іншого – виділення із загальної маси найбільш істотних в даному випадку лімітуючих чинників.

Останнім часом для оптимізації технологічного режиму ГТН все більш широке поширення набуває метод математичного планування експерименту. Вибір вхідних параметрів варіювання залежить від вимог до покриття і методу напилення. Наприклад, це можуть бути потужність електричної дуги, тиск і витрата стислого повітря, зазор між електродами, діаметр дротів для розпилювання електродуги; склад детонаційної суміші, частота імпульсів, дистанція напилення (при детонаційному методі); потужність, витрата і склад плазмоутворюючого газу, дистанція напилення, швидкість переміщення плазмотрона (при плазмовому методі).

Як функції відгуку (контрольованих параметрів) зазвичай розглядають міцність зчеплення покриття з основою, зносостійкість, твердість, пористість та інші характеристики залежно від функціонального призначення покриття. Одним з найбільш універсальних показників оптимально-

го режиму може бути КВМ, оскільки він характеризує найбільш раціональний рівень теплової і кінетичної енергії частинок.

В результаті застосування методів кореляційного аналізу багаточинника проводиться ранжування вибраних параметрів за їх значущістю, і на цій основі здійснюється оптимізація процесу ГТН без проведення великого обсягу експериментальних досліджень.

Аналіз існуючого обсягу експериментальних даних дозволяє встановити ступінь впливу окремих параметрів на структуру і властивості покриттів.

При способі електродугової металізації електричні параметри дуги залежать головним чином від характеристик матеріалу, що розпилюється. Збільшення потужності апарату збільшує температуру частинок з одночасним зростанням середніх розмірів частинок і, отже, зменшує поверхню їх охолоджування [7]. Проте надмірне збільшення потужності викликає значний нагрів металу і приводить до його випаровування і значного окислення.

Одним з основних чинників, що визначають структуру і властивості покриття, є температура частинок електродного металу, що розпилюється, яка обумовлюється, як правило, енергетичними параметрами дуги. У свою чергу, температура сталевих частинок при металізації електродуги залежить від розмірів, проте вона не перевищує температури плавлення заліза.

Заміна повітря аргоном при дуговій металізації сприяє поліпшенню властивостей покриттів і підвищенню міцності зчеплення.

При газополум'яному напиленні джерелом теплової енергії є полум'я, що утворилося в результаті горіння сумішей «кисень – газ, що горить (ацетилен, природний газ, пропан-бутан, водень та ін.)».

Одним із провідних напрямів сучасного розвитку цієї технології є використання надзвукових газових струменів при газотермічному напиленні. Підвищення швидкості і кінетичної енергії частинок матеріалу, що напилюється, дозволяє, з одного боку, поліпшити умови формування структури покриття, а з іншого – обмежити шкідливу дію навколишнього середовища і понизити інтенсивність процесів термічного розкладання матеріалу.

У табл. 3 наведено результати досліджень впливу технологічних параметрів напилення на динамічні характеристики надзвукового плазмового струменя, швидкість руху частинок матеріалу, що напилюється, і властивості отримуваних при цьому покриттів [8].

Таблиця 3

Умови напилення і властивості плазмових надзвукових покриттів

Напилений матеріал	Робочий газ	Швидкість, м/с		Властивості покриття				
		струменю	частки	Густина, г/см^3	Твердість		Шорсткість, мкм	Міцність зчеплення, МПа
					HRC	HV_{300}		
Кобальтовий сплав	Ar	2900	400…500	7,8	36	350…450	6,0…7,0	54,0…58,6
WC-12Co	Ar	2900	400…500	13,8	60	850…950	4,0…5,0	69
WC-17Co	Ar	2900	330…400	11,8	55	750…950	6,0…8,0	69
WC-17Co	Ar	3000	550…650	12,2	55	750…950	2,5…3,0	69
Cr_3C_2-NiCr	Ar+He	2900	400…500	6,4	51	500…550	4,4…5,7	62,0…69,0

Розвитком цих методів стало газополум'яне надзвукове напилення «Джет-коут». Досвід застосування установок такого типу дав можливість збільшити швидкості частинок до 300…350 м/с (замість 60…120 м/с в звичайних газополум'яних установках) і різко підвищити якість покриттів, що досягали рівня, притаманного детонаційному напиленню.

Нові перспективи розвитку технології газотермічного напилення відкриває використання надзвукових струменів плазми продуктів згоряння вуглеводневих газів з повітрям [9]. Співробітниками Інституту газу і Інституту електрозварювання Національної академії наук України на базі установки плазмового напилення «Київ-7» створено устаткування для надзвукового легкогазового плазмового напилення «Київ-С». Установка складається з надзвукового плазмотрона, джерела живлення, пульта управління і порошкового дозатора. Плазмо-

трон генерує слабконедорозширений струмінь плазми продуктів згоряння із ступенем недорозширення 1,1...3,0. Максимальна швидкість складає 3000 м/с при числі Маха ~ 2. Питома витрата енергії (кВт-год на 1 кг напиленого матеріалу) при надзвуковому повітряногазовому напиленні в 1,5…2,0 разів нижча, ніж у разі азотного або аргонового надзвукового плазмового струменя, і в 5…10 разів менша, ніж при надзвуковому газополум'яному методі.

Покриття з порошку WC-12Co з розмірами частинок 10...45 мкм, отримане на установці «КИЇВ-С», має твердість HV_{300} 1150...1300 і шорсткість (після шліфовки алмазним інструментом) Ra = 0,05 мкм.

Співробітниками ІПМ НАН України розроблено установку «Струмінь» для високошвидкісного газополум'яного напилення. Її основою є газоструменевий пристрій (ГСУ) – генератор надзвукового струменя продуктів згоряння палива (водню, метану, пропан-бутану та ін.) в кисні [10].

Збереження початкового складу плазмового струменя при напиленні на повітрі обмежене малою відстанню. Згідно [2], незалежно від сили робочого струму з віддаленням від плазмотрона вміст повітря в струмені зростає, і на відстані приблизно 50 мм його кількість досягає 55...65 %, а на відстані 50...100 мм – більше 90 %. Це приводить до виникнення в напилених покриттях різного роду хімічних і структурних змін.

Серед основних механізмів взаємодії напилених частинок з газами можна виділити чотири: адсорбція газів на поверхні частинок; хімічна взаємодія з утворенням оксидних або нітридних плівок; розчинення газів в рідкій фазі частинок; дифузійні процеси і механічне перемішування конвективними потоками в об'єм частинок продуктів поверхневої взаємодії [1].

Ефект впливу середовища на структуру і властивості покриттів може бути найчіткіше виявлений при використанні одного і того ж методу нанесення й устаткування. У роботі [2] описано структуру покриттів із сталі, отриманих в камері методом металізації електродуги із застосуванням у якості робочих газів аргону, азоту і повітря, а поза камерою – азотом. У структурі покриттів із сталі, нанесених аргоном в камері з аргоном, майже немає оксидів. Вищий вміст оксидів спостерігається в покритті, напиленому в камері з використанням азоту в якості робочого газу та середовища, а найбільша кількість оксидів виявлена в покритті, нанесеному за допомогою азоту поза камерою. Покриття, нанесене поза камерою з використанням стислого повітря, має явно відмінну від інших структуру. У ній помітно не тільки велику кількість оксидів, але спостерігається також розділення на окремі шари, а між частинками видно чіткі межі, які відсутні при напиленні за допомогою нейтральних газів. Аналогічні закономірності виявляють також і в збільшенні кількості пор і вмісту в покритті кисню.

У покриттях, напилених за допомогою азоту, виявлений вищий вміст кисню, ніж в тих, які напилені за допомогою аргону, що, на думку авторів [2], пов'язано з чистотою використовуваних газів (застосовувалися гази технічної чистоти, а не хімічно чисті). Що стосується азоту, той самий високий вміст цього газу відмічений в покриттях, напилених за допомогою стислого повітря.

Так, при газополум'яному напиленні корунду отримують покриття, що складається практично з γ-$A1_20_3$, при плазмовому – багатофазне покриття, що містить за об'ємом 5...10 % α-$A1_20_3$, решта γ-$A1_2O_3$. В результаті термообробки при температурі вище 1180 °С вміст α-фази в плазмовому покритті збільшується до 100 %. При плазмовому напиленні γ-$A1_2O_3$ на охолоджувану основу в покритті формується до 10 % α-фази та 90 % γ-фази; якщо основа не охолоджується, то вміст α-фази збільшується до 50...60 % [6].

Результати досліджень, наведених в літературних джерелах [9, 11 – 16], дозволяють провести порівняльний аналіз основних методів газотермічного напилення (табл. 4).

Структура покриттів, отримана різними методами ГТН, крім ряду загальних ознак має і істотні відмінності, пов'язані з технологічними особливостями процесів.

Основна причина полягає в тому, що методи різняться за абсолютними значеннями і співвідношеннями кінетичної та теплової енергії, що передається матеріалу, що напилюється.

По мірі збільшення швидкості руху частинок зменшується пористість, зростають міцність зчеплення, мікротвердість і міцність на розрив. Відмінність між параметрами характеристик газополум'яних і детонаційних покриттів перевищує 2…3 рази.

Наведені результати, відповідно, визначають матеріали, що напилюються кожним окремим методом, і накладають обмеження на максимальний розмір частинок, здатних формувати покриття з високими показниками міцності зчеплення і когезійної міцності.

Таблиця 4

Основні характеристики процесів газотермічного напилення

Метод напилення	Температура струменя, °С	Склад плазми або продуктів згоряння	Розхід газу, $м^3$/год	Швидкість витоку струменя, м/с	Швидкість часток, м/с	Максимальна продуктив-ність, кг/год	Температура часток, °С	Міцність зчеплення, МПа
Електродуговий	5500	N_2, O_2	В 60…150		120…240	20…45	2000…2600	до 50
Газополум'яний порошковий дозвуковий	2500	N_2, CO, CO_2, H_2O	C_2H_2 – 1,7; O_2 – 2,2	300…500	50…150	3…5	1800…2000	до 50
Газополум'яний дротовий дозвуковий	2800	N_2, Co, CO_2, H_2O	7…10	300…500	180			
Газополум'яний надзвуковий	3100	N_2, Co, CO_2, H_2O	16…45	1500	до 800	2,2	1500	
Плазмово-дуговий дозвуковий	10000…15000		2,4	100	120…400	10…16	2500	25…60
Плазмово-вакуумний	8300	Ar, He	8,4	-	420…480, 240…610	10		
Надзвукове повітряно-газове плазмове напилення	3250…6250	CO, CO_2, N_2, H_2O	10…40	до 3000	до 600	20…50	-	60…120
Плазмово-детонаційний	1700…29700		C_3H_8 –2,0, O_2 – 4,0	600…8000		6…8		
Детонаційний	3200	CO, CO_2, H_2O	C_3H_8 – 1…1,5, O_2 –2,0…4,0	1200…1500	до 1000	2…5	2300	до 200

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Получение покрытий и порошков высокотемпературным распылением металлических и керамических материалов в контролируемой атмосфере [Текст] / Л. К. Дружинин [и др.] – В кн.: Получение покрытий высокотемпературным распылением. – М.: Атомиздат, 1975. – С. 194-209.
2. Milewsski, W. Some properties of coatings ARC-spread in nitrogen of argon atmosphere [Text] / W. Milewsski, M. Sartowski // Adv. in Thermal Spraying: Proc. of the ITSC'86 (Montreal, Sept. 8-12, 1986). – New York: Pergamon Press, 1986. – P. 467-475.
3. Rao, K. V. Properties and characterization of coatings made using «Jet-Cote» thermal spraying technique [Text] / K. V. Rao, D. A. Somrvill, D. A. Lee // Adv. in Thermal Spraying: Proc. of the ITSC'86 (Montreal, Sept. 8-12, 1986). – New York: Pergamon Press, 1986. – P. 873-882.
4. Mazaris, P. Structures de revetements de carbure de tungtene oftenys par diffents procedes de projection [Text] / P. Mazaris, D. Manesse, C. Lepovet // Sandage et techniques. – 1987. – V. 41, № 1-2. – P. 36-42.
5. Петров, С. В. Восстановление металлизацией тяжелонагруженных дизельных коленвалов [Текст] / С. В. Петров, А. Г. Сааков, А. М. Бояджян // Автоматическая сварка. – 1999. – № 8. – С. 43-46.
6. Газотермические покрытия из порошковых материалов [Текст] : справочник / Ю. С. Борисов [и др.] – К.: Наук. думка, 1987. – 544 с.
7. Скорость полета напыляемых частиц при детонационном методе нанесения покрытий [Текст] / Е. А. Астахов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1975. – № 4. – С. 58-61.
8. Leongo, F. N. Advanced high-energy plasma sprayed coatings [Text] / F. N. Leongo // Proc. 8th ITSC (Miami, USA, ASM, May 19-23, 1976). – Miami, 1976. – P. 319-331.
9. Борисов, Ю. С. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления [Текст] / Ю. С. Борисов, Е. В. Петров // Автоматическая сварка. – 1995. – № 1. – С. 41-44.
10. Взаимодействие дисперсных частиц несущим потоком при высокоскоростном газопламенном напылении [Текст] / Ю. И. Евдокименко [и др.] // Порошковая металлургия. – 1996. – № 3/4. – С. 54-60.
11. Черноиванов, В. И. Новые технологические процессы и оборудование для восстановления деталей сельскохозяйственной техники [Текст] / В. И. Черноиванов, В. П. Андреев. – М.: Высш. шк., 1983. – 95 с.
12. Антонов, И. А. Газопламенная обработка металлов / И. А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1976. – 262 с.
13. Thorpe, M. L. Thermal spray industry in transition [Text] / M. L. Thorpe // Adv. Mat. and Proc. – 1993. – V. 143, № 5. – P. 50-61.
14. Кудинов, В. В. Теплофизика плазменных покрытий [Текст] / В. В. Кудинов, Е. М. Иванов // Физика и химия плазменных металлургических процессов. – М.: Наука, 1965. – С.103-126.
15. Тюрин, Ю. Н. Совершенствование оборудования и технологии детонационного нанесения покрытий [Текст] / Ю. Н. Тюрин // Автоматическая сварка. – 1999. – № 5. – С. 13-18.
16. Куприянов, И. Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления [Текст] / И. Л. Куприянов, М. А. Геллер. – Мн.: Наука і тэхніка, 1990. – 176 с.

Надійшла до редколегії 03.06.2010.
Прийнята до друку 16.06.2010.

УДК 656.225

С. В. ДОРОШКО (БелГУТ, Гомель, Беларусь)

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ

Пропонується адаптивна система організації вагонопотоків, яка в умовах нерівномірності потужності вагонопотоку та транспортного попиту є одним із засобів підвищення ефективності перевезень та прискорення обігу вагона за рахунок скорочення простою вагонів під накопиченням та підвищенням рівня транзитності вагонопотоків на технічних станціях.

Предлагается адаптивная система организации вагонопотоков, которая в условиях неравномерности мощности вагонопотока и транспортного спроса является одной из мер повышения эффективности перевозок и ускорения оборота вагона за счет сокращения простоя вагонов под накоплением и повышением уровня транзитности вагонопотоков на технических станциях.

The adaptive system of the organisation of car traffic volumes, which in the conditions of non-uniformity of the traffic volume capacity and transport demand is one of measures of increasing the efficiency of transportations and acceleration of a car turn owing to the reduction of idle time of cars under accumulation and increase of level of the transit car traffic volume at technical stations is offered.

Развитие рыночных отношений в нашей стране требует дальнейшего совершенствования эксплуатационной работы железной дороги, эффективного использования трудовых ресурсов и производственных фондов.

В настоящее время на железнодорожном транспорте действует достаточно совершенная система организации вагонопотоков [1]. Она представляет собой совокупность взаимосвязанных подсистем:

- информационного обеспечения, ориентированной на автоматизацию определения основных расчетных нормативов;
- экономико-экономического обоснования и оптимизации организации маршрутных поездов на грузовых станциях и поездов из немаршрутизируемых с мест погрузки вагонопотоков, формируемых на сетевых опорных станциях из груженых и порожних вагонов;
- расчета внутридорожных планов формирования поездов различных категорий для станций, расположенных в районах местной работы;
- реализации нормативного плана формирования поездов, оперативной его корректировки на основе рационального управления вагонопотоками;
- контроля за исполнением плана формирования грузовых поездов на всех уровнях управления.

Современная система организации вагонопотоков в значительной степени определяет производительность работы поездных и маневровых локомотивов, интенсивность использования вагонного парка, сортировочных устройств и путевого развития станций, сохранность груза при транспортировке, выполнение срока доставки груза и норм оборота вагонов, показателей эксплуатационной работы.

Оптимизация системы организации вагонопотоков позволяет сократить затраты на осуществление перевозочного процесса, улучшить финансовое положение дороги. За последние годы железными дорогами совместно с научно-исследовательскими организациями была проделана большая работа по совершенствованию методики оптимизации системы организации вагонопотоков. Однако не удалось преодолеть важных методологических недостатков существующей парадигмы.

Во-первых, коллективы станций в существующей системе организации вагонопотоков поставлены в жесткие условия ограниченного выбора, что делает невозможным переход к созданию свободных рыночных механизмов на транспортном рынке.

Во-вторых, попытка вести управление вагонопотоками на основе их средних значений оказывается малоэффективной. Она не позволяет станциям приспосабливаться к резко меняющимся вагонопотокам (часто случайным образом). Мало того, неэффективно используется локомотивный парк, сортировочные устройства и другие технические системы. В результате больших колебаний струи вагонопотока достигают размеров переработки на попутных станциях, управлять которой практически невозможно.

В-третьих, система организации вагонопотоков на практике «распадается» на отдельные

© Дорошко С. В., 2010

изолированные подсистемы. Первая подсистема решает задачи выбора направления вагонопотоков при наличии параллельных линий и по кратчайшему пути в обычных условиях. Очевидно, что раздельное решение задачи направления вагонопотоков и задачи оптимизации распределения сортировочной работы на направлении приводит к значительным потерям. В условиях рынка резко возрастает роль комплексного решения этой задачи, тем более что на сети железных дорог наблюдается тенденция опережающих темпов роста эксплуатационных тонно-км над тарифными. Сложившаяся практика производственно-хозяйственной деятельности и организации вагонопотоков имеет и слабую нормативную базу. В качестве примера можно привести такой факт: оперативные работники не имеют никаких данных о поучастковой себестоимости перевозок и поэтому не имеют возможности эффективно управлять перевозочным процессом. Именно поэтому сегодня очень важно приступить на дороге к разработке системы функциональных зависимостей технико-экономических показателей работы объектов от меняющихся условий работы. Только такой подход открывает перспективу для оптимального управления перевозочным процессом. Здесь целесообразно отметить, что использование функциональных зависимостей не только делает возможным анализ экономической деятельности и производственного потенциала, но и позволяет увеличить возможность вычислительной техники. Сегодня же не ведется даже расчет такого показателя как себестоимость перевозок по отдельным участкам дороги. В результате *apriori* принимается, что наивыгоднейшим с точки зрения экономики является пропуск вагонопотоков по кратчайшим путям. Однако себестоимость перевозок по отдельным участкам дороги может отличаться в 2…7 раз и поэтому следует вести пропуск вагонопотоков не всегда по кратчайшим путям, а по наиболее экономичным маршрутам.

Переход на адаптивную систему организации вагонопотоков является сегодня одной из важных мер повышения эффективности перевозок и ускорения оборота вагона за счет сокращения простоя вагонов под накоплением и повышением уровня транзитности вагонопотоков на технических станциях Белорусской железной дороги. Адаптивная система организации вагонопотоков особенно эффективна в условиях повышения массы поездов и при работе на удлиненных тяговых плечах, т.к. ликвидируется отцепка поездных локомотивов на станциях обмена групп вагонов.

Внедрение адаптивной системы организации вагонопотоков имеет два аспекта: внутридорожный и междорожный. В первом случае значительно упрощается планирование и организация работы с групповыми поездами на станциях и участках в пределах границ дороги. Во втором случае требуется разработка согласованной технологии на больших полигонах, что несколько затрудняет условия эксплуатационного персонала.

Принципиальным положением новой технологии является переход к адаптивному выбору сортировочной станцией типа поезда (одногруппный или многогруппный) и повышению уровня его организованности после прохода очередной сортировочной станции. Возможны следующие принципиальные технологии.

Технология 1. На железнодорожном направлении устанавливается специальным расчетом с учетом вероятностных колебаний вагонопотоков план формирования одногруппных поездов. Для накопления вагонов каждого назначения выделяются отдельные пути. С целью сокращения простоя вагонов сквозных назначений их возможно отправлять не только одногруппыми, но и групповыми поездами. В этом случае теоретически максимальное количество поездных групп равно количеству одногруппных назначений, формируемых станцией в данном направлении. Следует отметить, что расчет плана формирования поездов при незначительных колебаниях расчетных нормативов весьма существенно деформирует принятое решение, что свидетельствует о целесообразности применения адаптивной технологии, которая может приспосабливаться к изменяющимся условиям эксплуатации, т.е. резкому изменению мощности струй и колебанию расчетных нормативов.

Технология 2. При наличии достаточного числа путей в сортировочном парке или их секционировании возможно выделять отдельные пути для накопления вагонов, идущих в адрес каждой впереди расположенной сортировочной станции. Такая технология позволяет формировать поездные группы только в адрес только одной сортировочной станции. В этой технологии максимальное количество поездных групп равно количеству впереди расположенных станций.

Технология 3. Вагоны маломощных назначений накапливаются на одном пути, и после пропуска потока через вспомогательное сорти-

ровочное устройство, которое размещено в хвостовой горловине сортировочного парка, вагонопоток перегруппируется в соответствии с географическим расположением сортировочных станций.

Дальнейшее совершенствование системы организации вагонопотоков неразрывно связано с поиском новых технологий работы железнодорожных направлений Белорусской железной дороги. Исследования показывают, что в результате резкого падения объемов работы сильно изменились режимы работы железнодорожных станций. Поэтому с целью экономии энергетических и других видов ресурсов важное значение приобретает поиск новых способов сокращения расходов. Необходимость внедрения новых технологий диктуется и необходимостью сокращения простоев вагонов на участковых и сортировочных станциях. Анализ работы железнодорожных станций показал, что наибольшая часть простоя связана с нахождением вагона под накоплением на сортировочных и участковых станциях, который определяется по формуле (1).

$$t_{\text{н}} = \frac{\sum C_j m_j}{N}, \quad (j = 1, 2, ..., n), \qquad (1)$$

где C_j – параметр накопления j-го назначения;

m_j – среднее количество вагонов в поезде j-го назначения;

N – среднесуточное количество формируемых на станции вагонов;

n – количество назначений, формируемых на станции.

Анализ зависимости (1) показывает, что величина $t_{\text{н}}$ быстро уменьшается в зоне от 0 до 100 вагонов в сутки, а при $n > 100$ вагонов уменьшается медленно. Учитывая, что средняя мощность назначений на полигоне сети Белорусской железной дороги стала меньше 70 вагонов, то станции оказались в зоне высокой чувствительности и к изменению нагрузки.

Для доказательства этого положения определим скорость изменения параметра $t_{\text{н}}$, т.е.

$$dt_{\text{н}} / dN = Cm / N_{\text{н}}^2 . \qquad (2)$$

Если происходит изменение $N_{\text{н}}$, то относительная чувствительность изменения параметра будет равна

$$\gamma = (Cm / N_{\text{н1}}^2) / (Cm / N_{\text{н2}}^2). \qquad (3)$$

Преобразуя (3), получим

$$\gamma = N_{\text{н1}}^2 / N_{\text{н2}}^2 . \qquad (4)$$

Из выражения (4) следует, что изменение чувствительности равно отношению квадратов величин средней мощности назначений. Например, изменение средней мощности назначений со 120 до 60 вагонов в сутки приводит к повышению чувствительности параметра $t_{\text{н}}$ в 4 раза.

Работа станций Белорусской железной дороги в зонах мощности назначений меньше 60…70 вагонов в сутки требует значительного усиления внимания к оперативной организации вагонопотоков в групповые поезда. Технология и конструкция современных станций должны обеспечить устойчивое формирование и обращение таких поездов.

На сегодня в теории и практике организации вагонопотоков лежит принцип выделения дальних струй. Таким образом, общая экономия времени $T_{\text{эк}}$ в приведенных часах от пропуска одного вагона струи N через i-ю станцию без переработки определяется как усредненная величина. Применяемый в настоящее время в системе организации принцип выделения дальних струй не учитывает внутреннюю организацию струи. Т.е. его недостатками являются, во-первых, большое допустимое количество вагонов в составе поезда. В результате на каждой станции, где осуществляется переработка, приходится выполнять дробную сортировку, затрачивая на это неоправданные материальные, трудовые и энергетические ресурсы.

Формирование групповых поездов приводит к значительному сокращению простоя вагонов под накоплением. Групповые поезда формируют из двух и более назначений, причем вагоны каждого назначения подбирают в отдельную группу. К сожалению, большинство железнодорожных станций и направлений работают в условиях высокой неравномерности вагонопотоков, и сфера реальной эффективности групповых поездов оказывается значительно ниже теоретической, и поэтому на практике такая система используется весьма осторожно. В связи с этим предлагается новая технология формирования групповых поездов, которая предусматривает создание на направлении (полигоне) станций обмена групп, систематизирование размещения групп в поезде и ограничение их количества до трех. Принципиальным отличием новой технологии является постоянное повышение уровня организованности поезда по мере его продвижения от начальной до конечной станции. Вагоны в составе должны подбираться в соответствии с географическим расположением станций переработки, а количество

групп в составе не должно превышать трех. Новая технология носит адаптивный характер и предполагает набор допустимых вариантов объединения групп по станциям направления.

Указанная технология предполагает:

- установление ниток графика на направлении, по которым организуется отправление групповых поездов с возможным согласованным подводом групп вагонов;
- обеспечение формирования (в пределах допустимых норм) тяжеловесных групп и включения в групповой поезд максимального количества вагонов соответствующего назначения, поступивших до его прибытия на станцию;
- непрерывное планирование поездообразования на направлении, с целью снижения простоя подвижного состава;
- минимизацию маневровой работы и безопасное размещение порожних вагонов в составе поезда;
- выделение специальных путей на станциях направления для формирования групповых поездов.

Внедрение новых технологий неразрывно связано с выбором оптимального количества групп в поезде. Выполненные исследования и анализ показателей работы станций показывает, что с увеличением количества групп в составе поезда простой вагонов под накоплением сокращается. Однако рост количества групп приводит к усложнению работ по перецепке групп или их переформированию. Поэтому необходимо выбрать такое количество групп, при которых суммарные затраты будут наименьшими.

Для выбора оптимального количества поездных групп необходимо исходить из условия исключения перестановки транзитных групп поезда. Поэтому технология должна обеспечить условия, когда на каждой станции перегруппировки групп местная группа должна быть крайней, которая может располагаться в головной или в хвостовой частях поезда. Станции перегруппировки также должны обеспечивать отправление поезда на смежную станцию с местной группой, расположенной с головы или хвоста поезда. Станции также должны обеспечивать отправление поезда на смежную станцию с местной группой, расположенной с головы или хвоста поезда.

Таким образом, выполнить указанные требования возможно, только если в составе поезда будет не более трех групп. В этом случае после отцепки группы местных вагонов на пути перестановки остаются две транзитные группы. Пополнение состава может происходить с любой стороны. В отдельных случаях транзитные группы могут следовать далее и без накопления.

Один из принципиальных вопросов новых технологий является выбор сфер целесообразности перецепки группы или расформирования.

Перецепка групп вагонов целесообразна при наличии на сортировочных и участковых станциях специальных устройств и их рационального размещения. Скоростная перецепка групп может быть организована только при подключении к этой работе локомотивов сортировочной горки и вытяжек. При этом должна обеспечиваться возможность одновременной обработки, как с головы, так и с хвоста поезда. Такая возможность обеспечивается только при расположении специальных парков перецепки параллельно сортировочному. На отдельных станциях эту роль могут взять на себя крайние пути сортировочных парков, на которые имеются выходы в обход сортировочной горки.

Формирование групповых поездов через сортировочную горку позволяет значительно повысить поточность и технологичность операций. Однако такой способ формирования может увеличить объем переработки, что является основной причиной малого удельного веса групповых поездов, формируемых на сети Белорусской железной дороги. Однако применение предлагаемой технологии позволит существенно увеличить среднее количество вагонов в отцепе, повысить скорость роспуска, резко сократить расходы на расформирование состава поезда. Выбор способа перегруппировки составов необходимо выполнять на основе технико-экономических расчетов. Для этого необходимо определить среднее количество перецепок на направлении.

Количество перецепок зависит от числа сортировочных и участковых станций на направлении, структуры вагонопотоков и многих других факторов.

Вагоны самой дальней струи вагонопотока максимально могут перецепляться $(k - 2)$ раз, то есть на каждой попутной технической станции. Минимальное количество перецепок равно нулю. Поэтому в среднем, когда отсутствует целенаправленное направление на уменьшение перецепок, количество перецепок этой струи составит $(k - 2)/2$.

Вагоны следующей струи (по дальности) головной станции будут перецепляться в сред-

нем (k – 3)/2. Вагоны менее дальних струй (k – 4)/2, (k – 5)/2 и т.д.

В общем виде среднее количество перецепок на направлении, включающем k станций, можно определить по формуле:

$$n_{\text{перец}} = \frac{(k-2)+(k-3)\cdot 2+(k-4)\cdot 3+(k-5)\cdot 4+\ldots}{2}. \qquad (5)$$

Для иллюстрации рассмотрим линейное железнодорожное направление с четырьмя станциями (рис. 1).

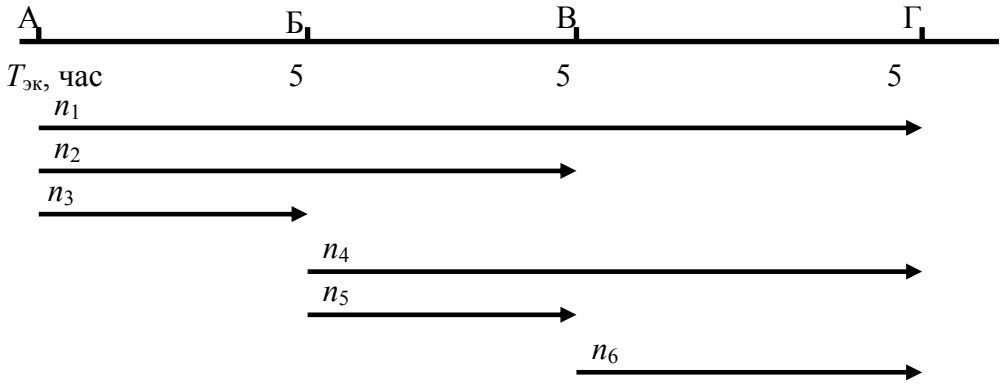


Рис. 1. Исходные данные для определения оптимального плана формирования поездов на участке из 4-х технических станций

При адаптивной технологии переработки вагонопотока, когда на каждой станции направления струи накапливаются отдельно, а затем формируются одногруппные, двухгруппные или трёхгруппные поезда, то затраты вагоно-часов изменятся. При этом в самом благоприятном случае струя 1 будет иметь 0 перецепок, а в неблагоприятном – 2. Расчет среднего количества перецепок приведен в табл. 1.

Обобщая результаты табл. 1, можно отметить, что общее количество перецепок (наиболее вероятное):

для первой струи $n_{\text{перец},1} = (k_{\text{ст}}^{1} - 2)/2$;
для второй струи $n_{\text{перец},2} = (k_{\text{ст}}^{2} - 2)/2$;
для четвертой струи $n_{\text{перец},4} = (k_{\text{ст}}^{4} - 2)/2$.

Таблица 1

Расчет количества перецепок

Номер струи	Количество перецепок		Среднее количество перецепок
	благоприятный исход	неблагоприятный исход	
1	0	2	1
2	0	1	0,5
4	0	1	0,5
Общее количество перецепок	0	4	2

Подставив исходные данные в выражение (5), для направления из четырех станций получим $n_{\text{перец}} = \frac{(4-2)+(4-3)\cdot 2}{2} = 2$ перецепки; для направления из пяти станций – $n_{\text{перец}} = \frac{(5-2)+(5-3)\cdot 2+(5-4)\cdot 3}{2} = 5$.

Аналогично для направлений, включающих k станций соответственно:

k = 6 – $n_{\text{перец}}$ = 10; k = 7 – $n_{\text{перец}}$ = 17,5;
k = 8 – $n_{\text{перец}}$ = 28,0 и k = 9 – $n_{\text{перец}}$ = 45,0.

Общее количество перецепок можно определять по ранее полученной формуле (5) или по выражению

$$n_{\text{перец}} = \frac{n_{\text{ст}}^{1}-2}{2} + \frac{n_{\text{ст}}^{2}-2}{2} + \frac{n_{\text{ст}}^{4}-2}{2} = \frac{1}{2}(n_{\text{ст}}^{1} + n_{\text{ст}}^{2} + n_{\text{ст}}^{4} - 2Z), \qquad (6)$$

где $n^1_{ст}, n^2_{ст}, n^4_{ст}$ – количество станций, которые проследует струя (с учетом станций зарождения и погашения);

Z – количество сквозных назначений.

Однако, наличие системы управления, как показало моделирование процесса перегруппировки, приводит к резкому снижению количества перецепок, особенно при большом количестве станций на направлении. Поэтому реальнее количество перецепок определять по формулам

$$n_{\text{перец}} = \frac{[(k-2)+(k-3)/2+(k-4)/3+...]\varphi}{2}$$

или $$n_{\text{перец}} = \frac{1}{2}(n^1_{ст} + n^2_{ст} + n^4_{ст} - 2Z)\varphi, \qquad (7)$$

где φ – коэффициент, который учитывает влияние системы управления на количество перецепок.

Анализ формул (7) показывает, что наименьшее количество перецепок будет при максимальном объединении в групповые поезда наиболее дальних назначений.

Наиболее целесообразные варианты организации вагонопотоков в групповые поезда необходимо устанавливать на основе технико-экономических расчетов.

Применение предлагаемой технологии, а именно, вагоны должны подбираться в соответствии с географическим положением станций переработки, а количество групп в составе не должно превышать трех, позволит получить целый комплекс косвенных эффектов, т.е. снизится загрузка станций, повысится транзитность маломощных вагонопотоков, загрузка маневровых локомотивов на технических станциях, снизится срок доставки грузов и т.п. Кроме того, с увеличением количества станций на расчетном полигоне эффект от применения новой технологии увеличивается. Аналогичное влияние на величину эффекта оказывает и сокращение продолжительности перецепки вагонов.

Для проверки аналитических зависимостей было выполнено графическое моделирование работы железнодорожного направления, включающее 8 станций. Результаты моделирования показали, что средний простой вагонов под накоплением при адаптивной системе организации вагонопотоков не зависит от количества назначений.

Для определения эффективности групповых поездов было рассмотрено несколько направлений Белорусской железной дороги. В качестве примера на рис. 2 приведена диаграмма вагонопотоков на направлениях Брест–Орша–Смоленск.

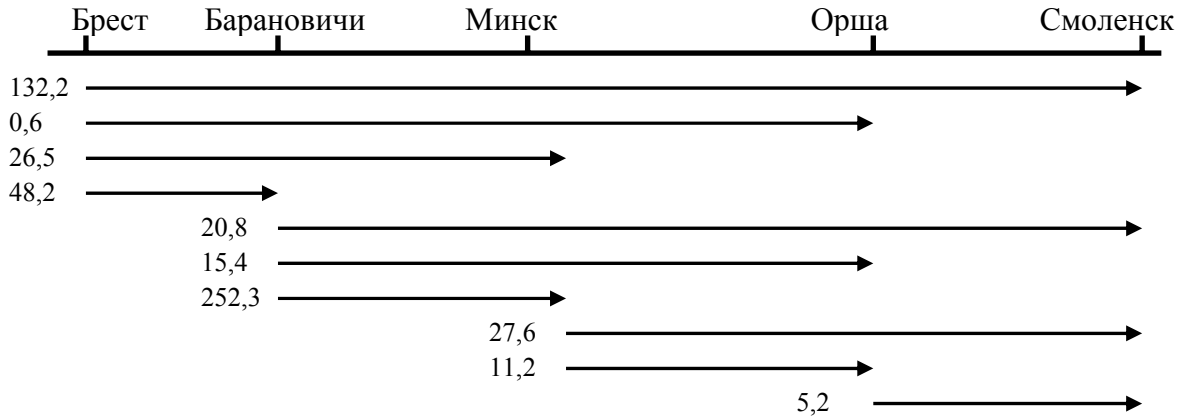


Рис. 2. Диаграмма вагонопотоков на направлении Брест–Смоленск

Анализ данных рис. 2 позволяет отметить чрезвычайно высокий уровень колебаний мощности струй вагонопотоков на направлении Брест–Орша–Смоленск от 0,6 вагона в сутки до 252,3 вагона в сутки. Очевидно, что в таких условиях, как показали исследования, действующая система организации вагонопотоков не может обеспечить максимальную эффективность перевозочного процесса. Аналогичная ситуация характерна и для направления Брест–Гомель. Это направление отличается дополнительно и малой мощностью струй.

Для расчетов по эффективности новой технологии использованы следующие данные: параметр накопления C = 10, среднее число вагонов в составе поезда m = 60, $T_{эк}$ = 5. Кроме того, исследовано влияние $T_{эк}$ на выбор технологии.

При традиционном подходе суммарные затраты вагоно-часов для направления Брест–Орша–Смоленск составят

$$B_н = 4\cdot10\cdot60 + 5\cdot(139,2 + 0,6 + 26,5 + 20,8 + + 15,4 + 27,6) = 3550,5 \text{ ваг-час.}$$

При новой технологии, если предположить, что на перецепку группы вагонов в среднем затратить 0,5 часа и простой под накоплением вырастет на 30 %, то

$$B_н = 1,3\cdot4\cdot10\ 60 + 0,5\cdot(1,5\cdot139,2 + 1\cdot0,6 + + 0,5\cdot26,5 + 1\cdot20,8 + 0,5\cdot15,4 + 0,5\cdot27,6) = = 3252,5 \text{ ваг-час.}$$

Если $T_{пер} = 2$ часа, то

$$B_н = 1,3\cdot4\cdot10\ 60 + 2\cdot(1,5\cdot139,2 + 1\cdot0,6 + 0,5\cdot26,5 + 1\cdot20,8 + 0,5\cdot15,4 + 0,5\cdot27,6) = = 3649,9 \text{ ваг-час.}$$

Выводы

Анализируя результаты исследования, можно сделать следующие выводы.

На участке Брест–Смоленск предлагаемая технология дает ожидаемый эффект при $T_{эк} = 5$ ч и увеличении времени простоя под накоплением на 30, 50 и 70 %. При $T_{эк} = 5$ ч эффект наблюдается при увеличении времени на перецепку на 30 %, а также при увеличении времени простоя под накоплением на 50 % образуется эффект при времени на перецепку 0,5 часа.

На направлении Гомель–Брест экономия наблюдается при увеличении времени под простоем на 30 %. На направлении Брест–Гомель технология эффекта не дает.

Кроме того, с увеличением времени на перецепку экономия вагоно-часов уменьшается.

Внедрение данной технологии позволит получить целый комплекс косвенных эффектов – снизится загрузка станций, повысится транзитность потоков, уменьшится потребность в штате, капитальных вложениях, энергетических ресурсах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сотников, Е. А.Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) [Текст] / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

Поступила в редколлегию 14.06.2010.
Принята к печати 16.06.2010.

УДК 656.212

Д. Н. КОЗАЧЕНКО (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГОРКАХ

В статті представлено дослідження, що пов'язані з оптимізацією режимів гальмування в умовах невизначеності інформації про відчепи, які скочуються та неточній реалізації гальмівними позиціями управляючих впливів. Запропоновано імовірнісний критерій для оцінки умов розділення відчепів.

В статье представлены исследования, связанные с оптимизацией режимов торможения в условиях неопределенности информации о скатывающихся отцепах и неточной реализации тормозными позициями управляющих воздействий. Предложен вероятностный критерий для оценки условий разделения отцепов.

Research of braking mode optimization under uncertainty of information about rolling down cuts and inaccurate realization of control actions by retarder positions is presented in the paper. The probability criterion for evaluation of conditions of sorting cuts is proposed.

Основным средством, обеспечивающим повышение безопасности роспуска, улучшение условий труда и уменьшение эксплуатационных расходов на переработку вагонопотоков на сортировочных станциях, является автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках. Качество работы автоматизированных систем управления роспуском составов определяют три составляющие: полнота и точность учета факторов, влияющих на процесс скатывания, технические средства реализации управляющих воздействий и технологические принципы вычисления управляющих воздействий. Решение последней задачи является наиболее важным условием, т.к. позволяет сократить стоимость систем управления роспуском. В данной статье представлены исследования, связанные с оптимизацией режимов торможения в условиях неопределенности информации о скатывающихся отцепах и неточной реализации управляющих воздействий тормозными позициями.

Оптимизации режимов торможения отцепов посвящено достаточно большое количество научных трудов [1 – 8]. При этом в качестве элементарной группы при решении задачи оптимизации режимов торможения обычно рассматривается расчетная группа из трех отцепов. Наилучшим с позиций интервального регулирования в [4] предложено считать такой режим торможения среднего отцепа, при котором интервалы на ограничивающих разделительных элементах со смежными отцепами одинаковы ($\delta t_1 = \delta t_2$), а их значение максимально. Формализованное представление целевой функции в задачах оптимизации режимов торможения по условиям интервального регулирования для расчетной группы отцепов предложено в [7]:

$$\min\left\{\delta t_1,\ \delta t_2\right\} \to \max .$$

Результаты оптимизации режимов торможения отцепов по данному критерию приведены на рис. 1, *а*. В представленном вычислительном эксперименте моделировалось разделение группы из трех одновагонных отцепов на 5-й стрелке в первой паре и на 4-й – во второй. Параметры среднего (управляемого) отцепа соответствуют математическому ожиданию массы и удельного сопротивления движению вагонов тяжелой весовой категории, а параметры крайних оцепов – параметрам плохого бегуна. Оптимизация режимов торможения среднего отцепа показала, что максимальные интервалы на разделительных стрелках в 4,6 с достигаются при скатывании среднего отцепа без торможения на головной тормозной позиции и торможении его до скорости выхода $v_{\text{ТП}}$ = = 3,9 м/с на пучковой.

Недостатком этого подхода является то, что в нем не учитывается случайный характер факторов, влияющих на разделительные интервалы. Для иллюстрации указанной проблемы на рис. 1, *б* приведены результаты моделирования скатывания 100 отцепов тяжелой весовой категории при реализации заданной скорости выхода отцепов из тормозной позиции с математическим ожиданием $v_{\text{ТП}}$ = 3,9 м/с и средним квадратическим отклонением $\sigma[v_{\text{ТП}}]$ = 0,3 м/с. Анализ результатов моделирования показал,

© Козаченко Д. Н., 2010

что влияние случайных факторов привело к тому, что в 56 % опытов значения разделительных интервалов в первой паре и 45 % во второй паре оказались меньшими величины 4,6 с. При этом, в одном из опытов во второй паре отцепов интервал составлял 0,94 с, что соответствует их неразделению на стрелках. Функции плотности распределения интервалов в первой и второй парах отцепов представлены на рис. 2, *а*.

Как показал анализ результатов статистической обработки, случайные величины интервалов δt_1 и δt_2 имеют близкое математическое ожидание 4,4 и 4,8 с. В то же время, средние квадратические отклонения указанных величин существенно отличаются и составляют $\sigma[\delta t_1] = 1{,}38$ с, $\sigma[\delta t_2] = 0{,}88$ с. При увеличении расстояния между стрелками разница в условиях разделения возрастает еще больше.

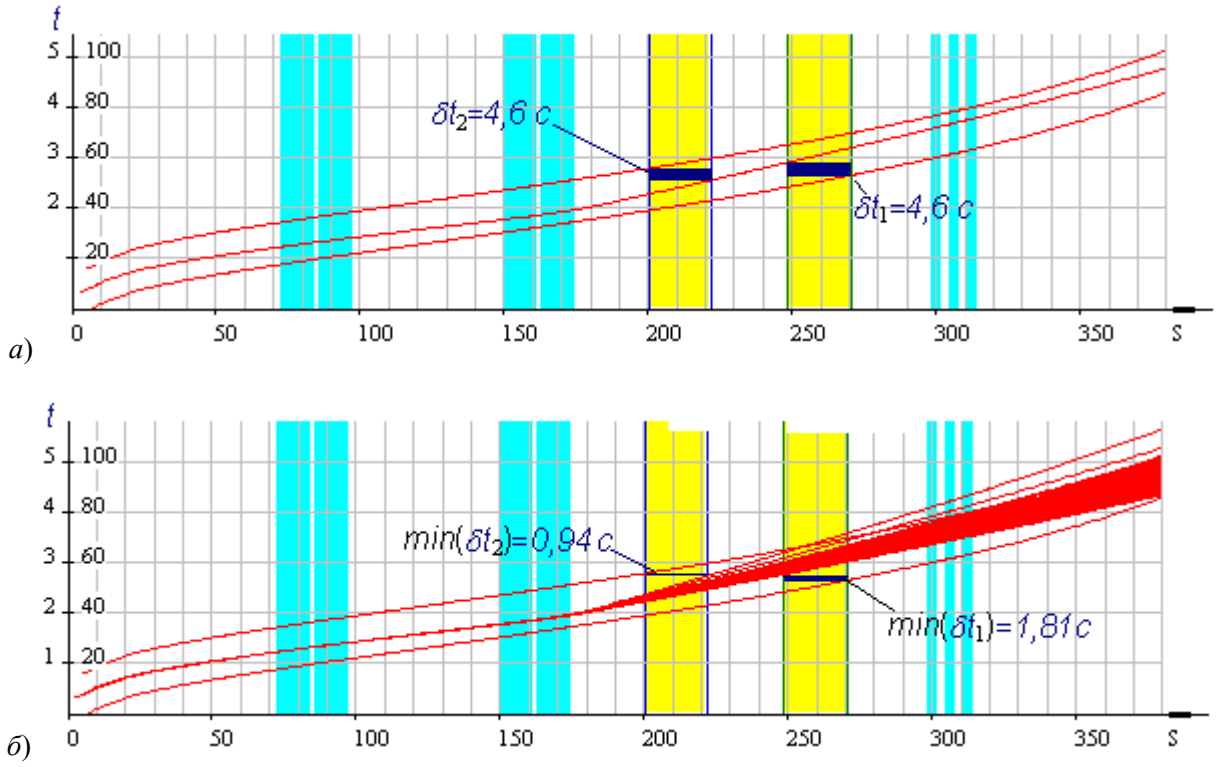


Рис. 1. Графики времени скатывания отцепов расчетной группы: *а* – при известных параметрах среднего отцепа и точной реализации заданной скорости выхода из тормозной позиции; *б* – при случайных параметрах среднего отцепа и неточной реализации заданной скорости выхода из тормозной позиции

Для сравнения на рис. 2, *б* представлены функции плотности распределения интервалов между отцепами при их делении на 5 и 3 стрелках.

Математическое ожидание интервалов в первой и второй парах отцепов в этих экспериментах составляет 5,9 и 6,2 с, а среднее квадратическое отклонение 1,58 и 0,49 с соответственно. Таким образом, условия разделения отцепов, при равном значении математического ожидания величины интервалов, могут существенно отличаться. В этой связи, необходимо совершенствование критерия для оптимизации режимов торможения отцепов.

Для решения задачи оптимизации интервалов между отцепами в стохастической постановке необходимо установить параметры распределения случайной величины интервалов в первой и второй парах отцепов. В общем случае величины интервалов на разделительных элементах в расчетной группе из трех отцепов могут быть определены по формуле

$$\delta t_1(\mathbf{v}) = t_{1,2} + t_2(\mathbf{v}, s_1) - \tau_1(s_1);$$
$$\delta t_2(\mathbf{v}) = t_{2,3} + t_3(s_2) - \tau_2(\mathbf{v}, s_2),$$

где $t_{1,2}, t_{2,3}$ – начальные интервалы на вершине горки, соответственно, в первой и второй парах элементарной группы;

$t(s)$ – время скатывания отцепа от момента отрыва до момента занятия изолированного участка (ИЗУ) разделительной стрелки s;

$\tau(s)$ – то же, до момента освобождения ИЗУ разделительной стрелки s;

$\mathbf{v}$ – вектор скоростей выхода отцепов из тормозных позиций.

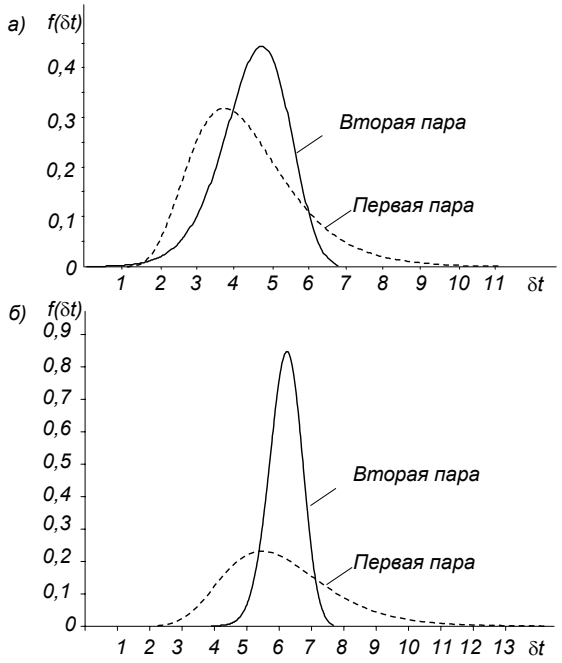


Рис. 2. Функции плотности распределения случайных величин интервалов между отцепами: *а* – разделительные стрелки $s_1 = 5$, $s_2 = 4$, $v_{ТП} = 3{,}95$ м/с; *б* – разделительные стрелки $s_1 = 5$, $s_2 = 3$, $v_{ТП} = 3{,}65$ м/с

Примем, что значение времени освобождения и занятия разделительных элементов крайними отцепами элементарной группы $\tau_1(s_1)$ и $t_3(s_2)$ известны. Значения начальных интервалов на вершине горки $t_{1,2}, t_{2,3}$ в общем случае являются случайными величинами, которые зависят от параметров отцепов, однако, ввиду малости среднего квадратического отклонения их можно представить математическими ожиданиями. Таким образом, случайная величина интервалов на разделительных элементах может быть представлена с помощью выражений

$$\delta t_1(\mathbf{v}) = t_2(\mathbf{v}, s_1) - T_{1,2},$$
$$\delta t_2(\mathbf{v}) = T_{2,3} - \tau_2(\mathbf{v}, s_2),$$

где $T_{1-2} = \tau_1(s_1) - t_{1,2}$, $T_{2-3} = t_{2,3} + t_3(s_2)$ – постоянные величины;

$t_2(\mathbf{v}, s_1)$, $\tau_2(\mathbf{v}, s_2)$ – случайные величины, зависящие от режимов торможения отцепов и расположения разделительных элементов на маршруте скатывания.

Пример гистограммы распределения случайной величины продолжительности скатывания отцепа до некоторой точки на спускной части горки представлен на рис. 3.

Статистическая обработка результатов имитационного моделирования показала, что нет оснований отвергать гипотезу о логнормальном распределении величин $t_2(\mathbf{v}, s_1)$ и $\tau_2(\mathbf{v}, s_2)$, функция плотности распределения которого имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где μ, σ – параметры распределения.

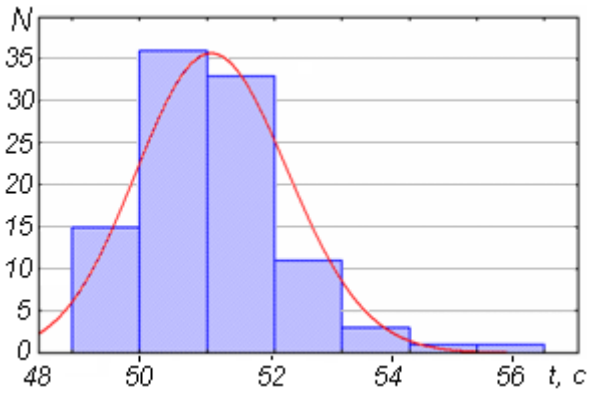


Рис. 3. Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины времени скатывания отцепа на расстояние 250 м от вершины горки при $v_{ТП} = 4{,}0$ м/с

Случаи неразделения отцепов наступают тогда, когда интервалы на разделительных стрелках в первой или во второй парах принимают значение меньше 1 с, т.е. при выполнении условий

$$t_2(\mathbf{v}, s_1) < 1 + T_{1,2} \text{ или } \tau_2(\mathbf{v}, s_2) > T_{2,3} - 1.$$

Вероятности наступления этих событий могут быть установлены из выражений

$$p(\delta t_1 < 1) = p(t_2 < 1 + T_{1,2}) =$$
$$= \int_{-\infty}^{1+T_{1,2}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu_{до})^2}{2\sigma_{до}^2}} dx;$$

$$p(\delta t_2 < 1) = p(\tau_2 > T_{2,3} - 1) =$$
$$= 1 - \int_{-\infty}^{T_{2,3}-1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu_{за})^2}{2\sigma_{за}^2}} dx,$$

где $\mu_{до}, \sigma_{до}, \mu_{за}, \sigma_{за}$ – параметры распределения случайных величин времени следования отцепа до момента занятия и освобождения ИЗУ разделительной стрелки.

Таким образом, для стохастических условий скатывания в качестве параметра, характеризующего условия разделения отцепов, целесо-

образно принять вероятность неразделения отцепов, которая должна быть минимальной

$$p_з = p(\delta t_1 < 1) + p(\delta t_2 < 1) \to \min .$$

Исследование влияния режимов торможения отцепов на вероятность их неразделения выполнено с помощью имитационного моделирования, на основании результатов которого построены зависимости $p_з = f(v_{ТП})$.

Пример такой зависимости приведен на рис. 4. Оптимальная скорость выхода отцепа из пучковой тормозной позиции может быть определена методами прямого поиска. В данном примере минимальное значение величины $p_з$ достигается при $v_{ТП} = 4{,}05$ м/с и составляет $p_з = 0{,}00014$. Учитывая, что вероятность неразделения отцепов при $v_{ТП} = 3{,}9$ м/с составляет 0,00073, то изменение режима торможения позволяет уменьшить вероятность неразделения отцепов более чем в 5 раз. Для проверки эффективности разработанной методики выполнено имитационное моделирование скатывания 1000 расчетных групп отцепов. Во всех экспериментах было обеспечено разделение отцепов на стрелках. При этом наблюдаемая величина минимального интервала в первой паре составила 1,11 с, а во второй – 1,09 с.

Представленная на рис. 4 зависимость позволяет также установить зону допустимых скоростей выхода отцепа из тормозной позиции, при которых, с заданной вероятностью, обеспечивается разделение отцепов. Так, при допустимой вероятности неразделения $p_з = 0{,}005$ [4] допустимыми являются скорости в пределах 3,74 м/с < $v_{ТП}$ < 4,25 м/с.

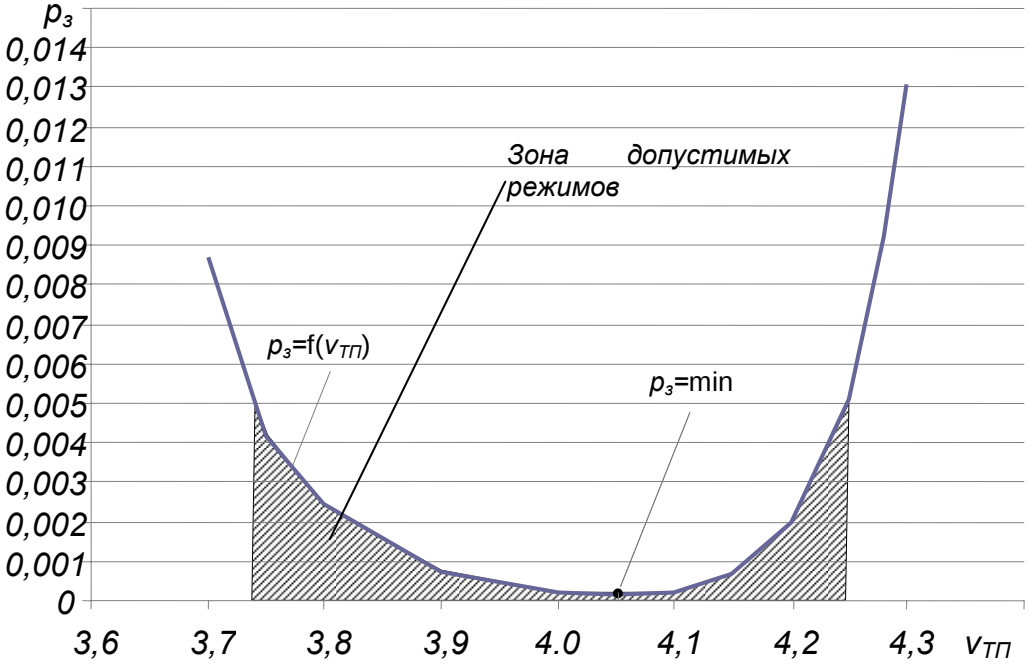


Рис. 4. Поиск оптимального режима торможения среднего отцепа в расчетной группе

Выводы

Влияние случайных факторов оказывает значительное влияние на условия разделения отцепов на стрелочных переводах. Величина этого воздействия зависит от положения разделительных элементов на маршруте скатывания и различается для первой и второй пары расчетной группы отцепов. В этой связи, оптимизацию режимов интервального торможения отцепов предложено выполнять по критерию минимума вероятности неразделения отцепов на стрелках. Представлены методы оценки вероятности неразделения отцепов и поиска оптимального режима торможения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шафит, Е. М. Расчет времени расформирования составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды ДИИТа. – Вып. 61. – М.: Транспорт, 1966. – С. 31-50.
2. Кирлан, А. И. Цифровая модель горки для исследования алгоритмов управления горочными процессами [Текст] / А. И. Кирлан // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. науч.

тр. – Вып. 13. – Свердловск: УО ЦНИИ МПС, 1969. – С. 112-114.
3. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю. А. Муха [и др.] – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.
4. Божко, Н. П. Методика определения режимов торможения отцепов при анализе конструкций сортировочных горок [Текст] / Н. П. Божко // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 229/15. – Д.: ДИИТ, 1983. – С. 30-36.
5. Ульянычев, Ю. В. АРС ГТСС. Автоматическое регулирование скорости вагонов на сортировочной горке [Текст] / Ю. В. Ульянычев // Автоматика, телемеханика и связь. – 1972. – № 7. – С. 10-14.
6. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 32-34.
7. Бобровский, В. И. Поиск оптимальных режимов торможения на проектируемых сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 5. – С. 50-54.
8. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский // Транспорт: Зб. наук. пр. – Д.: Арт–Пресс, 2000. – С. 43-47.

Поступила в редколлегию 18.05.2010.
Принята к печати 27.05.2010.

УДК 629.472.7.001.8

В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ДЕПО И ПУТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Представлено критичний аналіз існуючих методів ремонту вантажних вагонів. Робиться висновок, що при ймовірній природі ремонтного виробництва «класичний» тип «жорсткої» потокової лінії з регламентованим тактом в подальшій перспективі є недоцільним. Подальший розвиток потокового вагоноремонтного виробництва бачиться у розробці сучасних підприємств, обладнаних багатопредметними гнучкими асинхронними системами з високим рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів.

Представлен критический анализ существующих методов ремонта грузовых вагонов. Делается вывод, что при вероятностной природе ремонтного производства «классический» тип «жёсткой» поточной линии с регламентированным тактом в дальнейшей перспективе является нецелесообразным. Дальнейшее развитие поточного вагоноремонтного производства видится в создании современных предприятий, оснащённых многопредметными гибкими асинхронными системами с высоким уровнем механизации и автоматизации технологических процессов.

A critical analysis of existing methods for repair of freight wagons is presented. The conclusion, that with probability nature of repair activities the “classic” type of a “rigid” production line with regulated step in long-term outlook is inexpedient, has been done. The further development of production-line wagon repair activities is seen in the creation of advanced enterprises equipped with multi-object flexible asynchronous systems with high level of mechanization and automation of technologic processes.

Методы организации ремонта вагонов за весь их период использования претерпели очень глубокие изменения и прошли путь: от стационарного – до гибкого поточного.

При стационарном методе ремонта вагон не надо перемещать, так как все работы производятся на одном месте. Стационарный метод очень прост в реализации, но он является непроизводительным, т.к. не позволяет на одной позиции использовать весь комплекс технологического оборудования: от моечной машины до окрасочной и сушильной камер. Единственно, пожалуй, его позитивным качеством является полная независимость от ремонта остальных вагонов, т.е. объект ремонта будет ремонтироваться ровно столько времени, сколько нужно.

Поточной называется такая форма организации производства, при которой специализированные позиции располагаются в строгой последовательности с принятым технологическим процессом, а предметы труда постоянно перемещаются между этими позициями до полного завершения цикла. Такой метод носит ещё название «поточно-предметный». Возможен вариант, когда предметы труда находятся на месте, а перемещаются только исполнители. Здесь мы имеем дело с «поточно-бригадным» методом организации производства. Любой поточный метод даже в самой простой своей реализации является более эффективным по сравнению с непоточным, так как позволяет за счёт специализации позиций и оснащения их необходимым технологическим оборудованием повысить производительность труда.

Наибольшего распространения поточные методы производства вначале получили в машиностроении и приборостроении. Из этих отраслей они уже потом распространились и на другие отрасли промышленности, в том числе и на ремонтные.

На автомобильном транспорте, например, поточный метод нашёл применение при профилактическом обслуживании автомобилей. Впервые при обслуживании автомобилей поток был применён в 1928 г. [1].

На железнодорожном транспорте поточные методы ремонта получили широкое распространение при ремонте и обслуживании подвижного состава. Так, например, впервые в мировой практике в 1968 году Даугавпилский локомотиворемонтный завод перешёл на поточную форму организации ремонта тепловозов. Это позволило увеличить выпуск тепловозов из ремонта на 150 % и до 45 % сократить их простой в ремонте [2].

© Мямлин В. В., 2010

После перехода на поточный метод ремонта контейнеров в вагонном депо Лихоборы производительность труда выросла в два раза [3].

Однако наибольшее распространение поточные методы получили при производстве капитального и деповского ремонта вагонов и их узлов.

Надо отметить, что Украина всегда находилась на передовых рубежах при внедрении прогрессивных методов ремонта подвижного состава. Ещё в далёком 1885 году инженер А. П. Бородин произвёл большую работу, связанную с внедрением индустриальных методов ремонта вагонов в главных мастерских Киева и Одессы.

Другой украинский инженер Н. М. Хлебников в 1912 году теоретически обосновал и практически внедрил новую форму организации ремонта товарных вагонов на Нижнеднепровских мастерских [4].

Вопросам совершенствования ремонта вагонов всегда уделялось большое внимание и в бытность Советского Союза. Именно в этот период вагонное хозяйство приобрело прочную производственно-техническую базу для ремонта вагонов. В течение сравнительно небольшого срока было построенного значительное количество вагонных депо, существующие главные железнодорожные мастерские были переоборудованы в вагоноремонтные заводы и оснащены необходимым оборудованием. По состоянию на 1975 год только в различных депо функционировало 40 поточных линий для ремонта вагонов.

Здесь необходимо выделить работы, наиболее способствовавшие становлению поточных методов ремонта, таких учёных как Бродовский А. Л., Скиба И. Ф., Криворучко Н. З., Лапшин Ф. А., Комаров С. Г., Цикунов А. Е., Гридюшко В. И., Бугаев В. П., Ножевников А. М., Ёжиков В. А. [5 – 14].

После внедрения поточного метода на Барнаульском ВРЗ программа ремонта вагонов возросла на 120 %. Использование поточно-конвейерного метода на Стрыйском ВРЗ позволило увеличить объём выпускаемой продукции почти на 70 %. Переход на поток в вагонном депо Уссурийск дал возможность увеличить выпуск вагонов из ремонта примерно на 40 % и сократить их время пребывания в ремонте на 48 %. Использование потока в депо Волноваха позволило увеличить выпуск вагонов на 65 %. В результате применения комплекса поточных линий в вагонном депо Красноармейск выпуск вагонов с одной ремонтной позиции вырос в 2,9 раза.

Данные факты свидетельствуют о том, что внедрение поточных методов ремонта на различных вагоноремонтных предприятиях позволило скачкообразно по сравнению со стационарным методом увеличить выпуск вагонов из ремонта и сократить время нахождения их в ремонте.

Однако из всего количества существовавших при СССР вагонных депо, а это около двухсот предприятий, только треть перешла на поточный метод ремонта. Как правило, все депо в настоящее время специализированы на ремонте вагонов только одного типа.

Вместе с тем приведенные выше показатели сильно отличаются друг от друга и говорят о том, что не были разработаны единые требования ни к технологии, ни к оборудованию, ни к организации производства.

Следует обратить внимание также на то, что вслед за некоторым подъёмом после перехода на поточный метод дальнейшего роста не наблюдалось, а наоборот, некоторые вагоноремонтные предприятия стали сдавать свои позиции, и он даже пошёл на спад. Это связано со многими причинами, но, прежде всего, с вероятностной природой вагоноремонтного производства.

Первые потоки, используемые для ремонта вагонов, унаследовали основные признаки потоков машиностроения 30-х годов. К ним следует отнести следующие черты: желание иметь как можно большее число позиций; чрезмерное дифференцирование операций, как по исполнителям, так и по позициям; довольно низкий уровень механизации.

К тому же ремонт вагонов на потоке имеет и свои специфические особенности. К этим особенностям можно отнести большое разнообразие конструктивных отличий вагонов даже одного и того же типа, различные условия и интенсивности их эксплуатации, а также широкий диапазон «возрастных» изменений вагонов.

Совокупность всех этих факторов влияет на трудоёмкость выполнения ремонтных работ на вагонах, и через неё способствует проявлению неопределённости ремонтного процесса, делает вагоноремонтное производство слишком чувствительным к нарушению хода технологического процесса. Такая вероятностная природа вагоноремонтного производства требует определённого к себе отношения и обязательно должна быть учтена при разработке новых форм организации потоков.

При существующих вариантах организации вагоносборочных участков в депо большинство предприятий предпочитают использовать стационарный метод ремонта вагонов. Этот метод является весьма непроизводительным (неэффективным), т.к. он не способствует росту производительности труда. Только при разделении операций и специализации позиций можно добиться высокой производительности труда и повышения качества ремонта.

Большим же недостатком «жёсткого» потока (рис. 1) при ремонте вагонов явилось постоянное несоблюдение регламентированного такта. Из-за того, что все вагоны отличаются очень большим диапазоном неисправностей, вагоноремонтное производство носит вероятностный характер. Попытки добиться синхронизации времени выполнения ремонтных работ на позициях поточных линий явились «камнем преткновения». При такой структуре поточной линии постоянно возникают ситуации, когда на одних позициях вагоны уже отремонтированы, а на других – ремонт ещё продолжается. Поэтому рабочие и оборудование тех позиций, на которых завершён ремонт, начинают простаивать.

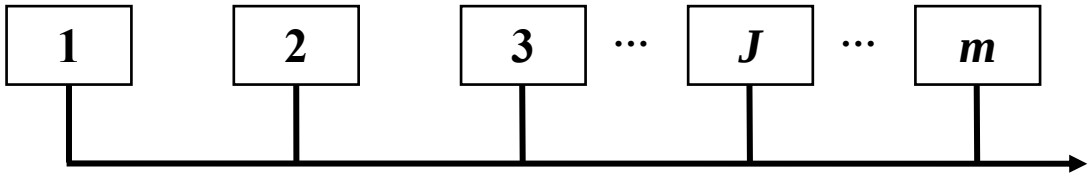


Рис. 1. Структурная схема поточной линии с жёсткими связями между позициями

Без наличия специализированных позиций, предназначенных для выполнения конкретных операций и оснащённых соответствующим механизированным и автоматизированным оборудованием, поток не может получить максимальную свою реализацию. Само по себе простое перемещение вагонов между производственными позициями, без насыщения позиций специальным оборудованием (выполнение работ вручную), не имеет смысла. Это создаёт только видимость потока и не является потоком по сути. Если одна и та же технологическая операция может осуществляться на разных позициях (двух или более), то нарушается принцип специализации позиций. Такие потоки являются формальными потоками. При существующих жёстких схемах так приходится поступать только потому, что многие вагоны из-за регламентированного такта не успевают быть обслуженными на «своих» позициях и эти работы продолжают доделываться на последующих позициях. Если одни и те же операции можно производить на разных позициях, то это, скорее, свидетельствует не о «гибкости» производственного процесса, а о его формальной реализации. Такие потоки являются потоками по «форме», чем по «сути».

Создание того или иного вида потока зависит в первую очередь от конфигурации главного производственного корпуса. Изначально при проектировании и строительстве вагоноремонтных предприятий с жёсткими поточными линиями уже была заложена дисфункция, выражающаяся в очень низкой надёжности самих поточных линий, на которую ещё вдобавок накладывался вероятностный характер объектов ремонта, заключающийся в большой вариации трудоёмкостей выполняемых работ.

Детальный анализ поточного вагоноремонтного производства позволил сделать вывод, что все вагонные депо, построенные в период существования Советского Союза, предусматривают только жёсткую структуру. Такая структура состоит из последовательно соединённых элементов (позиций) и выход любого элемента из строя отражается на работе всей поточной линии. С ростом интенсивности эксплуатации вагонов, а также производством новых вагонов, имеющих различные конструктивные отличия, значительно стала изменяться и трудоёмкость их ремонта. А для «жёсткого» потока необходимо, чтобы время завершения выполнения работ на всех позициях происходило бы одновременно. Сбой такта на любой позиции отражается на работе всей поточной линии.

Поэтому дальнейшая теоретическая работа вагоноремонтной науки в области организации производства была большей частью направлена

на совершенствование работы жёстких поточных линий. Особенно активно это направление разрабатывала «белорусская» вагоноремонтная школа в лице Криворучко Н. З., Бугаева В. П., Букина В.Т., Разона Н. Ф. [16 – 21].

Представители этого направления считали, что наиболее эффективным методом ремонта вагонов в депо есть поточно-конвейерный метод. А раз для поточно-конвейерного метода «узким местом» является соблюдение регламентированного такта, то большинство их рекомендаций в основном и были направлены на обеспечение именно внутритактной синхронизации времени выполнения работ на позициях поточных линий.

В качестве мер, которые, по их мнению, способствовали бы более стабильному функционированию «жёсткого» потока, предлагались различные организационно-технические мероприятия. Так, например, предлагалось ставить на одну позицию два или более вагонов, подобранных из запаса вагонов таким образом, чтобы усреднённые трудоёмкости групп вагонов по позициям были бы примерно равными, или же ставить на поток поочерёдно «тяжёлые» и «лёгкие» вагоны.

Вместе с тем, для того, чтобы осуществлять подбор вагонов нужно, во-первых, иметь огромный запас вагонов одного типа, чтобы было из чего выбирать и, во-вторых, сам подбор связан со многими трудностями технического и организационного характера. Да и содержать большой запас вагонов в условиях крайнего их дефицита – это непозволительная роскошь.

Таким образом, мероприятия, предлагаемые этой группой учёных, годятся только для улучшения работы уже существующих поточных линий. К тому же выполнение этих мероприятий требует постоянных дополнительных усилий, связанных с подбором групп вагонов для постановки на позиции из числа вагонов, ожидающих ремонта. Кроме того, нет никакой гарантии, что подбор вагонов для одной ремонтной позиции по критерию «усреднённой трудоёмкости» окажется в пределах «нормы» и для других ремонтных позиций.

Наиболее простой способ, чтобы хоть как-то исправить ситуацию, – это предварительный ремонт вагонов с повышенными объёмами работ на подготовительных стационарных стойлах. После того, как объём ремонтных работ на этих вагонах будет уменьшен до «нормы», их можно ставить в общую поточно-конвейерную линию. Однако такой поток является каким-то половинчатым, неполноценным потоком, т.к. объекты ремонта предварительно находятся некоторое время на стационарным уравнительных стойлах, а не сразу ставятся на поток. В целом такой поток можно назвать потоком только с большой натяжкой. Скорее всего, такая форма организации ремонта может называться «стационарно-поточной».

Таким образом, можно сказать, что все эти рекомендуемые мероприятия носят в основном теоретический характер, практическое их применение весьма затруднительно и неэффективно – в целом противостоять вероятностной природе вагоноремонтного производства они не могут.

Основная ошибка здесь видится в том, что исследователи поточных методов ремонта вагонов основное усилие направляли на совершенствование только одного конкретного вида ремонтного потока, а именно – поточно-конвейерного (поточно-линейного) метода, а не потока как такового вообще.

Сейчас трудно сказать, почему в своё время была принята для всех депо только одна структура потока – жёсткая. По всей видимости, сработала инертность мышления. Раз при движении поезда вагоны следуют друг за другом по одному и тому же пути, то и при ремонте вагонов должно быть, по-видимому, также – ремонтируемые вагоны должны следовать друг за другом по одной и той же колее. Но, одно дело, просто следовать в составе сборного поезда, и совсем другое дело находиться в жёсткой связи при выполнении ремонтных работ. Необходимо ещё учитывать и то, что на тот период времени так остро не стоял вопрос о вероятностной природе вагоноремонтного производства – не было такого большого количества модификаций вагонов, и степень их эксплуатации была намного меньше. Да и строительство простых форм зданий для таких участков не вызывало никаких трудностей. Кроме того, был использован существующий опыт машиностроения и приборостроения. И хотя в других отраслях в последующем были применены другие типы потоков, при ремонте вагонов в депо все оставалось по-прежнему. Вагоны представляют собой крупногабаритные предметы, и при уже построенных зданиях не было никакой возможности что-либо существенно изменить в структуре таких линий.

Хотя следует отметить, что ещё в 50-х годах в работе д.т.н., профессора И. Ф. Скибы [5] упоминались различные нетрадиционные схемы организации вагоноремонтных цехов. Правда, в этой работе шла речь о ремонте вагонов в

условиях заводов, и не фигурировало такое понятие как «гибкие поточные линии». На рис. 2 представлена одна из схем организации вагоносборочного цеха поперечно-тупикового типа с транспортной тележкой. Ремонт вагонов предполагается осуществлять по этой схеме стационарным методом.

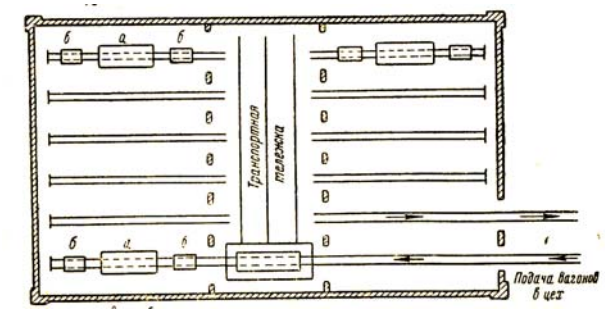


Рис. 2. Схема вагоносборочного цеха поперечно-тупикового типа с транспортной тележкой:
а – кузов вагона; *б* – вагонная тележка

В качестве ещё одного примера из этой же работы приведём схему вагоносборочного цеха продольно-тупикового типа (рис. 3).

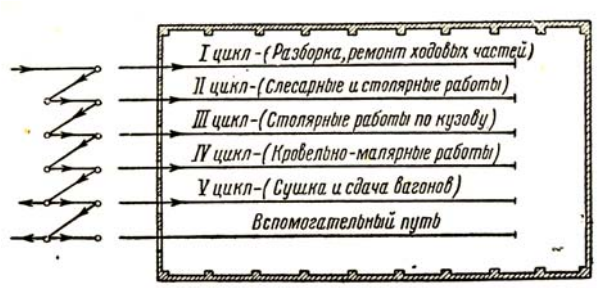


Рис. 3. Схема вагоносборочного цеха продольно-тупикового типа

Ремонт вагонов в цехе продольно-тупикового типа организован поточным методом. На каждый специализированный ремонтный путь (позицию) устанавливается группа вагонов. Перемещение вагонов между позициями осуществляется поочерёдно, начиная с последней позиции. К недостаткам такой схемы организации ремонта следует отнести то, что перемещение групп вагонов между позициями связано с большим объёмом маневровых работ и содержанием разветвлённого путевого хозяйства. К тому же пребывание каждого отдельного вагона в ремонте напрямую зависит от простоя всей группы вагонов. Кроме того, каждое перемещение вагонов между позициями связано с выходом за пределы здания, поэтому добавляется ещё негативное влияние погодных условий.

Всё многообразие существующих на сегодняшний день зданий вагоносборочных участков сводится к двум конфигурациям: сквозной и тупиковой (П-образной), причём независимо от того используют они стационарный или поточный методы ремонта вагонов.

При сквозной схеме вагоны поступают в ремонт с одной стороны здания, а выходят из ремонта – с другой. При П-образном варианте, подача вагонов в ремонт и выпуск их после ремонта производятся с одной и той же стороны вагоносборочного участка.

Формы зданий, выполненные в виде прямоугольников, неукоснительно предполагали размещение только нескольких параллельных путей, на которых можно было ремонтировать вагоны и стационарным, и поточным методами.

При таких структурах постоянно возникают ситуации, когда дальнейшее продвижение вагонов становится невозможным – мешают другие вагоны, на которых ещё ведутся ремонтные работы. Из-за невозможности дальнейшего продвижения или объезда впереди стоящего объекта ремонта возникают транспортные «пробки».

При жёсткой структуре поточной линии и не остаётся ничего другого, как только заниматься вопросами обеспечения внутритактной синхронизации.

Таким образом, принятая в своё время ориентация на «жёсткий» поток, связанный с обязательной синхронизацией времени выполнения ремонтных работ на позициях, не оправдала надежды. «Жёсткий» поток для ремонтного производства оказался тактической ошибкой.

Тем не менее, на сегодняшний день альтернативы потоку нет. Это самая эффективная и самая высокопроизводительная форма организации производства. Для дальнейшего развития поточных методов ремонта нужны новые организационно-технические формы.

Кроме «жёсткого» потока, который был принят повсеместно при организации вагоноремонтного производства, существуют и другие разновидности поточного производства.

В качестве одного из решений, повышающих пропускную способность поточных линий и не требующих больших капитальных вложений, было предложено, например, перейти от «жёсткого» потока к «полужёсткому» [15]. Суть этого предложения сводилась к тому, чтобы вместо одного грузоведущего конвейера, осуществляющего одновременную перестановку всех вагонов между позициями, перейти к «цепочке» конвейеров, каждый из которых связывал бы только две соседние позиции (рис. 4). Такое решение позволяло внедрить некоторые элементы гибкости, хотя и не решало всю про-

блему в целом. При моделировании работы таких поточных линий на ЭВМ было установлено, что их пропускная способность по сравнению с «жёстким» вариантом возрастает на 5…8 %.

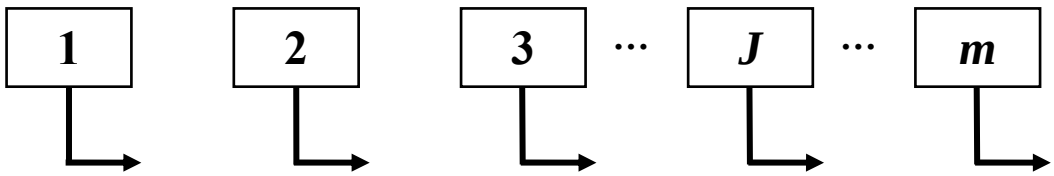


Рис. 4. Структурная схема поточной линии с полужёсткими связями между позициями

При создании поточно-конвейерных линий с жёсткими связями между позициями не была достаточно хорошо изучена природа вагоноремонтного производства и совершенно не было взято во внимание то обстоятельство, что трудоёмкости ремонтных работ на вагонах могут сильно варьировать даже при выполнении одних и тех же операций. В этом заключается основное отличие ремонтных работ от сборки на конвейере нового изделия в машиностроении.

Вместе с тем проблема несоблюдения жёсткого такта на конвейерах даже в условиях производства новых изделий также существует. И связано это со многими факторами и, в первую очередь, с психофизиологическими особенностями человека. Человек, например, не может в течение всей смены работать с одной и той же интенсивностью. В условиях же ремонтного производства, как мы уже отмечали, появляется ещё целый ряд дополнительных факторов, влияющих на ритмичную работу поточно-конвейерных линий.

Считалось, что прямая железнодорожная колея, т.е. та основа, которая служит для движения вагонов, должна непременно фигурировать и при их ремонте. Поэтому при переходе на поток в качестве одного из основных атрибутов потока, по которому движутся вагоны, были выбраны обычные железнодорожные пути, которые укладывались вдоль ремонтных пролётов. На этих путях последовательно располагались ремонтные позиции. Таким образом, были сформированы потоки, состоящие из последовательно соединённых жёстких элементов. Надёжность таких систем довольно низкая. С выходом из строя одного элемента (нарушение регламентированного такта или отказ технологического оборудования) нарушается работа всей поточной линии. Поэтому такой вариант организации поточного производства не способствует эффективному использованию оборудования и исполнителей. Вместе с тем, все вагоноремонтные предприятия, построенные в бытность Советского Союза, были сориентированы именно на такой жёсткий поток. А для этого потока, как мы уже отмечали, необходима строгая синхронизация времени выполнения операций на позициях.

Различное время выполнения операций связано как с существенными внешними отличиями объектов ремонта (различные условия эксплуатации, разный «возраст» вагонов, конструктивные особенности и т.п., что, естественно, сказывается на трудоёмкости ремонта), так и с внутренними отличиями самих исполнителей (накопленный опыт, профессионализм, внимательность, утомляемость, душевное состояние, самочувствие и т.п.).

Дополнительным подразделением к жёстким поточным линиям, как правило, является организация подготовительных участков. Цель этих участков заключается в выполнении части ремонтных работ на вагонах с повышенными объёмами работ и доведением их до «нормы». После этого вагоны могут поступать на поточную линию.

Поточное вагоноремонтное производство необходимо рассматривать как производство, связанное со случайными величинами в их взаимодействии. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке новых форм поточного производства. Если условия поточного ремонтного производства продуманы не до конца, то такое производство не может быть эффективным.

Кроме того, что все вагоноремонтные поточные линии первоначально имели жёсткую структуру (другие варианты депо просто не строились), которая, как мы уже подчёркивали, является далеко не лучшим вариантом при организации ремонтного производства, они вдобавок ещё различались количеством позиций,

количеством мест на одной позиции, количеством ремонтных ниток и т.п. Таким образом, были существенные различия, как и в самих структурах потоков, так и в основных технико-экономических показателях работы поточных линий. Всё это усложняло внедрение типовых технологических процессов и типового оборудования.

При жёсткой структуре потока, когда путь движения предметов труда заранее предопределён, т.к. они движутся строго по одному и тому же пути, естественно, что очень важная роль отводится соблюдению регламента времени выполнения ремонтных операций на каждой позиции.

Основной проблемой («узким местом») жёсткого и полужёсткого потоков является сильная зависимость между перестановками вагонов с одной позиции на другую. И хотя во втором случае удаётся немного сгладить эту зависимость, суть от этого всё равно не меняется. Эти потоки представляют собой многофазные одноканальные системы массового обслуживания (вагоны движутся между позициями друг за другом по одной и той же колее), т.е. системы вытянуты в одну линию. Поэтому на практике они так и называются: «поточные линии».

Из теории надёжности хорошо известно, что наименее надёжной является система, состоящая из последовательно соединённых элементов. Отказ любого элемента в такой цепи приводит к отказу всей системы в целом. Нарушение регламентированного такта на одной из позиций, по сути дела, и является отказом.

Такой подход, когда изначально создаётся жёсткая система, состоящая из последовательно соединённых элементов, а потом разными методами стараются заставить её надёжно работать, не может являться примером правильного инженерного решения.

Переход со стационарного метода ремонта на поточный при той же самой жёсткой структуре вагоносборочного участка ничего не меняет по существу, а создаёт только иллюзию потока, особенно если работы выполняются вручную.

При работе на таких поточных линиях возникает противоречие, которое заключается, с одной стороны, в необходимости соблюдения регламентированного такта для полной загрузки исполнителей и оборудования, а с другой – в постоянной неравномерности трудоёмкостей выполняемых работ, вызванных вероятностной природой вагоноремонтного производства.

Эту ситуацию необходимо максимально нейтрализовать. Бороться с её последствиями бесполезно. А нейтрализовать её можно за счёт снижения зависимости в перемещении вагонов, созданием гибкой транспортной системы.

В первую очередь необходимо решить вопрос независимой (индивидуальной) транспортировки каждого вагона между позициями. Если будет решён этот вопрос, то будет и ликвидировано «узкое место» в работе потоков.

Это противоречие может быть решено, например, за счёт перехода на гибкую систему организации производства. Чтобы сделать пропускные способности позиций потока одинаковыми, совсем не обязательно заниматься строгой синхронизацией операций, надо просто изменить структуру потока. Это можно сделать за счёт перехода от многофазной одноканальной системы массового обслуживания (СМО) к многофазной многоканальной СМО.

Поэтому наиболее правильным решением будет использование асинхронного гибкого потока. При таком потоке каждый объект с любого модуля (ремонтного места) j-й позиции может поступить на любой освободившийся модуль следующей (j+1)-й позиции (рис. 5).

При проектировании гибких вагоноремонтных потоков необходимо исходить из того, что не технологический процесс должен быть разбит на отдельные кратные по времени операции, выполняемые на разных позициях, а отдельные позиции должны быть жёстко специализированы на выполнении определённых технологических комплексов работ. Ремонтируемые вагоны должны находиться на каждой позиции ровно такой период времени, который необходим для их ремонта. Перестановка каждого отдельного вагона должна осуществляться индивидуально и не зависеть от других вагонов.

Таким образом, противостоять вероятностной природе вагоноремонтной среды можно только за счёт адаптации потока к каждому ремонтируемому вагону в отдельности.

Только с точки зрения теории случайных процессов, с учётом знания того, что существуют большие колебания трудоёмкостей ремонтных работ, необходимо браться за организацию эффективного поточного вагоноремонтного производства.

Впервые вопрос о возможностях реального использования гибких поточных линий для ремонта вагонов был поднят в теоретических работах днепропетровских учёных [22 – 25]. Кроме этого, проектно-изыскательским институтом «Днепрожелдорпроект» также впервые в мировой вагоноремонтной практике гибкие поточные линии были использованы в основных тех-

нологических решениях строительства крупнейшего в СССР комплекса для ремонта минераловозов на ст. Апатиты-1 Октябрьской ж. д. После этого появился ещё целый ряд научных работ, затрагивающих эту тему [26 – 32]. Кроме того, в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта гибкие поточные линии успешно внедрены в учебный процесс и используются студентами в курсовом и дипломном проектировании при разработке перспективных вагонных депо. Таким образом, можно говорить о «днепропетровском» направлении в организации ремонта вагонов на потоке, сориентированном на использование прогрессивных асинхронных гибких систем. Работа в этом направлении в настоящее время продолжает усиленно набирать обороты.

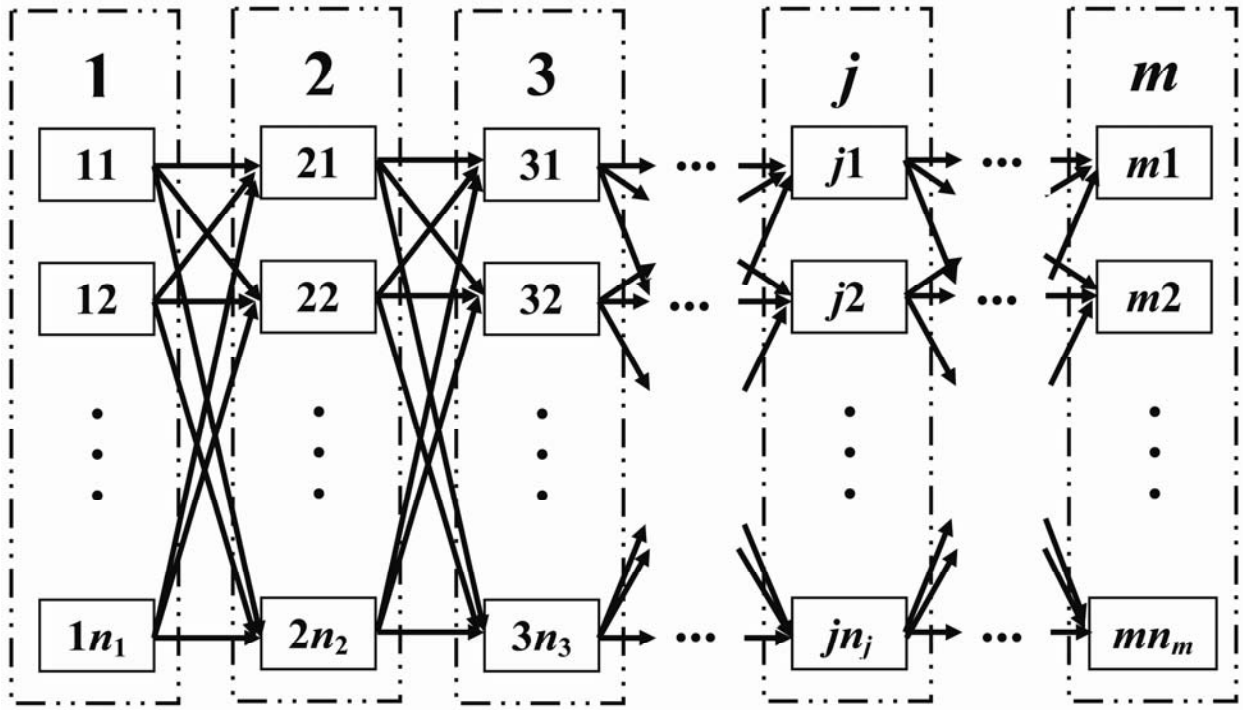


Рис. 5. Структурная схема асинхронного гибкого потока ремонта вагонов

Последнее направление дало также толчок и «московскому» направлению в лице Болотина М. М., Воротникова В. Г., Котуранова В. Н., Второвой Т. В., Устича П. А., Хабы И. И., Муравьёва С. Н., Денисенко А. А., Евстратова В. Д., Козловского И. В., которые в числе прочих исследований и популяризации гибких потоков занимаются вопросами возможности внедрения поточных линий с гибким маневрированием в зданиях существующих вагонных депо [33 – 40].

Надо подчеркнуть, что жёсткие варианты планировок корпусов вагоноремонтных предприятий, которые были массово построены в своё время, при новом строительстве уже рассматриваться не будут. Им на смену придут корпуса предприятий, предусматривающие асинхронные гибкие потоки. Такие предприятия за счёт использования гибких потоков смогут одновременно ремонтировать несколько типов вагонов и осуществлять несколько видов ремонта (деповской, капитальный). Кроме того, отпадёт потребность в предварительных ремонтных работах на уравнительных стойлах – для таких потоков нет необходимости содержать специальный запас вагонов с целью отбора из него «необходимых» вагонов для постановки на поток.

Для гибких потоков возможно постоянное обновление технологического оборудования на отдельных модулях, что совершенно не будет затрагивать перестройку всего потока.

Кроме того, в гибкой комплексно-механизированной системе исключена возможность «возврата» к стационарным методам ремонта, как это происходит в настоящее время.

Поэтому асинхронный гибкий поток должен быть обязательно принят на вооружение при строительстве новых вагоноремонтных предприятий, а для существующих предприятий необходимо, насколько это возможно, внедрение элементов гибкого потока.

Конечно же, обязательным требованием ритмичного поточного производства является постоянное наличие объектов ремонта. В случае несвоевременного поступления очередного вагона в ремонт происходит «сворачивание» потока. Хотя отсутствие объектов ремонта в

равной мере отражается на загрузке любых предприятий, использующих как поточный метод ремонта вагонов, так и стационарный.

Однако надо подчеркнуть, что для предприятий, использующих гибкий поток, вопрос обеспечения объектами ремонта будет стоять не так остро, как для предприятий, использующих обычные поточно-конвейерные линии. Если последние являются однопредметными, т.е. ремонтируют только один тип вагонов, то первые являются многопредметными, т.е. имеют больше возможностей в отборе объектов ремонта, т.к. ремонтируют несколько типов вагонов и выполняют несколько видов ремонта.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать вывод, что при новом проектировании и строительстве вагонных депо в качестве эталонных необходимо использовать только гибкие потоки. В наиболее передовых существующих депо для того, чтобы как-то ослабить жёсткую взаимозависимость при перемещении вагонов, обязательно должны быть внедрены элементы гибкого потока. С целью снижения капиталовложений при реконструкции и расширении отдельных существующих депо, там где это возможно, целесообразно строить из лёгких металлических конструкций корпуса для вагоноремонтных участков, использующих гибкие технологии, задействуя при этом уже имеющиеся участки для ремонта узлов и деталей. Остальные же вагоносборочные участки депо необходимо перевести на ремонт длинномерных вагонов или использовать для подготовки вагонов к перевозкам, или создать на их базе механизированные пункты обслуживания вагонов (МПОВ). Не исключена возможность передачи таких депо на баланс Главного управления путевого хозяйства для технического обслуживания и ремонта путевых машин. В настоящее время это управление страдает из-за отсутствия ремонтной базы. Учитывая широкую номенклатуру и мелкосерийный характер данного производства, для этих машин вполне может быть использован стационарный метод ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Кузнецов, Е. С. Исследование работы поточных линий технического обслуживания автомобилей [Текст] / Е. С. Кузнецов, В. А. Сорокин. – М.: Транспорт, 1966. – 83 с.
2. Гизатулин, Э. З. Организация поточного производства при капитальных ремонтах тепловозов [Текст] / Э. З. Гизатулин, Е. Г. Стеценко. – М.: Транспорт, 1982. – 121 с.
3. Биленко, А. И. Ремонт контейнеров на потоке: Опыт вагонного депо Лихоборы [Текст] / А. И. Биленко, Е. В. Трушкин. – М.: Транспорт, 1983. – 62 с.
4. О мероприятиях для понижения процента больных вагонов на железных дорогах: доклад начальника вагонного отдела службы тяги Екатерининской железной дороги инженера Н. М. Хлебникова [Текст] / Н. М. Хлебников. – Екатеринослав: Типо-Литография Екатерининской железной дороги, 1914. – 64 с.
5. Бродовский, А. Л. Организация вагонного хозяйства и содержание вагонов [Текст] / А. Л. Бродовский. – М.: Гострансжелдориздат, 1947. – 384 с.
6. Скиба, И. Ф. Поточный метод ремонта вагонов на заводах [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Гострансжелдориздат, 1950. – 247 с.
7. Криворучко, Н. З. Организация вагонного хозяйства [Текст] / Н. З. Криворучко. – М.: Гострансжелдориздат, 1954. – 542 с.
8. Лапшин, Ф. А. Вагонное хозяйство [Текст] / Ф. А. Лапшин, С. Г. Комаров. – М.: Гострансжелдориздат, 1955. – 191 с.
9. Чернышев, П. Н. Ремонт вагонов на конвейере [Текст] / П. Н. Чернышев, А. К. Сорока, П. Н. Наливайко. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 156 с.
10. Скиба, И. Ф. Экономическая эффективность новой техники, организации и технологии ремонта вагонов [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Транспорт, 1964. – 243 с.
11. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко, А. Е. Цикунов, В. И. Гридюшко. – М.: Транспорт, 1969. – 312 с.
12. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко, В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1976. – 280 с.
13. Ножевников, А. М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов [Текст] / А. М. Ножевников. – М.: Транспорт, 1980. – 137 с.
14. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве [Текст] / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
15. 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.
16. Криворучко, Н. З. Ремонт вагонов на потоке [Текст] / Н. З. Криворучко, К. Н. Межов, В. И. Букин // Ж/д трансп. – 1975. – № 8. – С. 56-59.
17. Бугаев, В. П. Эффективность ремонта вагонов и их узлов на потоке [Текст] / В. П. Бугаев // Ж/д трансп. – 1978. – № 3. – С. 45-49.
18. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов (системный подход). – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.
19. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, В. И. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

20. Букин, В. И. Совершенствование поточного метода деповского ремонта крытых вагонов с использованием ЭВМ [Текст] : дис. … канд. техн. наук / В. И. Букин. – Гомель: БелИИЖТ, 1976. – 226 с.
21. Разон, В. Ф. Повышение эффективности функционирования поточно-конвейерных линий ремонта грузовых вагонов в депо на основе обеспечения внутритактной синхронизации операций [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук / В. Ф. Разон. – М.: МИИТ, 1987. – 24 с.
22. 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.
23. 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.
24. Дударев, А. Е. Оптимизация структуры поточной вагоноремонтной линии с гибкими связями между производственными участками на стадии её проектирования путём расшивки узких мест [Текст] / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин. – Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. – Д., 1986. – 7 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.05.86, № 3583.
25. Структуры и параметры гибкой организации вагоноремонтного процесса [Текст] / А. Е. Дударев [и др.] // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов. – Д.: ДИИТ, 1987. – С. 65-69.
26. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Ж/д трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов. – Вып. 1. – М.: ОИ / ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – С. 1-11.
27. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 15-17.
28. 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.
29. 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.
30. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 28-33.
31. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 36-41.
32. Мямлин, В. В. Компоновочные 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.
33. Болотин, М. М. Новая технология ремонта вагонов [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Ж/д трансп. – 1991. – № 9. – С. 29-33.
34. Автоматизированные системы обработки информации и гибкие технологии на ремонтных предприятиях [Текст] / М. М. Болотин [и др.] // Автоматизация и современные технологии. – 1992. – № 8. – С. 21-23.
35. Образование параметров и оснащение гибких поточных линий по ремонту вагонов [Текст] / В. Г. Воротников [и др.] // Автоматизация и современные технологии. – 1993. – № 3. – С. 3-5.
36. Котуранов, В. Н. Пути усиления вагоноремонтной базы [Текст] / В. Н. Котуранов, М. М. Болотин, С. Н. Муравьёв // Ж/д трансп. – 1994. – № 11. – С. 54-56.
37. Вагонное хозяйство [Текст] / под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
38. Воротников, В. Г. Основные принципы моделирования процессов функционирования гибких производственных систем вагонных депо [Текст] / В. Г. Воротников, А. А. Денисенко // Безопасность движения поездов: Материалы восьмой науч.-практ. конф. (Москва, 01.11-02.11.2007). – М., 2007. – С. VI-3.
39. Воротников, В. Г. Перспективные направления повышения производственного потенциала вагонных депо [Текст] / В. Г. Воротников // Безопасность движения поездов: Материалы восьмой науч.-практ. конф. (Москва, 01.11-02.11.2007). – М., 2007. – С. VI-3 – VI-4.
40. Болотин, М. М. Моделирующие алгоритмы и автоматизация расчётов [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир транспорта. – 2008. – № 3. – С. 100-109.

Поступила в редколлегию 24.05.2010.
Принята к печати 27.05.2010.

УДК 004.932

А. Л. ПУЛАРИЯ (ДИИТ), М. Е. СЕРДЮК (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розглянуто питання обробки зображень, отриманих у результаті цифрової фотозйомки, з використанням методу каркасної інтерполяції при технічному діагностуванню рухомого складу залізниць.

Рассмотрен вопрос обработки изображений, полученных в результате цифровой фотосъемки, с применением метода каркасной интерполяции при технической диагностике подвижного состава железных дорог.

The problem of processing images obtained as a result of digital photographing during the railway rolling stock technical diagnostics, using the method of skeleton interpolation, is considered.

В условиях интенсивного развития компьютерных технологий, все большее распространение получает применение цифровой фото- и видеотехники и методов компьютерной графики во многих областях деятельности человека, в частности, в технической диагностике. Важнейшей функцией компьютерной графики является возможность программного увеличения размеров изображения, что, в свою очередь, позволяет выявить мелкие детали изображения, которые плохо видны на исходных фотоснимках. Эта функция может быть использована, в частности, при технической диагностике железнодорожного подвижного состава. Анализируя изображения с увеличением отдельных фрагментов, эксперт может оценить наличие, положение, размеры дефектов и повреждений, принять решение о целесообразности дальнейшей эксплуатации объектов контроля и необходимом объёме ремонтных работ. Важным условием для объективности анализа изображения является сохранение качества увеличенных фрагментов. Актуальным на сегодня является усовершенствование методов обработки цифровых изображений.

Качество изображений, полученных вследствие изменения их пространственных размеров, существенно зависит от методов пространственной интерполяции, которые при этом используются. В большинстве известных методов изменения размеров изображений используется аппарат теории приближений – изображение в каждой малой области считается гладким, что дает возможность описать этот фрагмент изображения полиномом, вейвлетом или другим инструментом. Интерполяция по каким-либо наперед заданным решеткам позволяет получить изображения необходимых размеров. Однако при этом не учитывается структура данного изображения, что приводит к появлению артефактов, таких как размытость, лестничный эффект в наклонных контурах, дублирующие контуры и др., а это искажает полученное изображение и усложняет его анализ.

Для улучшения качества изображений при их увеличении предлагается использовать метод каркасной интерполяции, который использует специфику изображения и позволяет сохранить достаточно высокое его качество после изменения пространственных размеров. В основе метода лежит построение каркаса изображения с использованием сплайнов и заполнение областей между элементами каркаса с помощью реконструкции на основе вариационного подхода. В отличие от большинства известных методов [1, 2], где изображение рассматривается как кусочно-непрерывная функция, что не позволяет учесть специфику растровых изображений, в данном методе изображение рассматривается как линейный непрерывный функционал I (распределение), определенный на классе финитных функций с прямоугольным носителем Δ. Цифровой рисунок в этом случае является результатом действия соответствующего распределения на некоторую совокупность тестовых функций. Процесс восстановления цифрового изображения сводится к построению его порождающей функции J в определенном функциональном классе. Допустимыми в задачах пространственной интерполяции считаются изображения, порождающие функции которых принадлежат классу функций с ограниченной вариацией:

$$J \in BV(\Delta).$$

© Пулария А. Л., Сердюк М. Е., 2010

Каркасом Ω изображения называется утолщенный граф, вершинами которого являются все пиксели пиксельной сетки, а ребрами – отрезки, соединяющие те пиксели, в которых значения функции изображения мало отличаются. Каркас представляет собой некоторое приближение топографической карты изображения и содержит те фрагменты линий уровней, которые проходят через точки пиксельной сетки. На каркасе вводится понятие каркасной интерполяции – это изображение I^*, для которого: 1) образ его на пиксельную сетку совпадает с образом исходного изображения I; 2) носителем его является каркас Ω; 3) существует интегрируемая достаточно гладкая функция J^* такая, что верно представление

$$\left\langle I^*, \theta \right\rangle = \int_{\Omega} J^*(x, y)\theta(x, y)dxdy$$

для всех $\theta \in D(\Omega)$.

Первый этап рассматриваемого метода состоит в решении задачи каркасной интерполяции. Это, во-первых, построение каркаса, во-вторых, восстановление на нем функции J^*.

Для корректного решения задачи каркасной интерполяции используются шеститочечные сплайны [3]. Такой сплайн строится на значениях функции в шести точках, дает наилучший прогноз в середине отрезка и является линией с минимальной локальной кривизной. Использование такого сплайна при решении задачи каркасной интерполяции позволяет получить визуально лучшие результаты.

Процедура построения каркаса заключается в следующем. Для каждого пиксела строится шестизвенная структура – цепь, в которой рассматриваемый пиксел является центральным. Из всех возможных цепей выбирается та, на которой наилучшим образом с помощью шеститочечного сплайна приближается значение функции изображения в пикселе. Таким образом, осуществляется попытка найти ту линию уровня, на которой лежит рассматриваемый пиксел. Из найденной структуры выделяется фрагмент, который попадет в зону влияния данного пиксела. Далее этот фрагмент утолщается определенным образом. Объединение таких фрагментов для всех пикселей образует каркас.

Следующим шагом после построения каркаса является определение значений функции изображения на каркасе. Для этого также используются шеститочечные сплайны, которые строятся на значениях изображения в точках соответствующей цепи.

Второй этап метода состоит в восстановлении функции изображения на всей области по ее значениям на каркасе. Эта задача называется задачей реконструкции изображения. Для ее решения применен вариационный подход. Структура целевого функционала выбрана с учетом того, что результирующее изображение должно отвечать принципу «непрерывного продолжения» Gestaltist'a, в соответствии с которым визуальное восприятие какого-либо изображения должно сохранять гладкую непрерывность всех контуров, вместо резких и обрывистых их изменений. Для исходной вариационной задачи разработана параметризированная задача, которая положена в основу построения численных процедур пространственной интерполяции.

Данный метод реализован в программном обеспечении Space Interpolation. Обработка графических файлов с его помощью подтверждает эффективность данного метода, поскольку визуальное качество фотоснимков, которые увеличивались с использованием Space Interpolation, оказалось лучшим, чем при увеличении этих же снимков методами бикубической интерполяции или интерполяции Ланкчоса. Лучшими в большинстве случаев являются и формальные характеристики оценки качества изображений, такие как PSNR, SSIM, VQM. Это делает целесообразным применение рассмотренного метода при технической диагностике подвижного состава железных дорог.

В качестве иллюстраций представлены фотографии балок рамы пассажирского вагона приписки Одесской железной дороги, которому было проведено техническое диагностирование, специалистами Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта (рис. 1*а* – 3*а*). Вагон имел значительные механические и коррозионные повреждения элементов несущей конструкции. При проведении технического диагностирования выполнялась цифровая фотосъемка мест повреждений. Обработка результатов проводилась с использованием метода каркасной интерполяции (рис. 1*б* – 3*б*). Полученные результаты позволили объективно оценить характер и величину повреждений, принять решение о возможной дальнейшей эксплуатации вагона.



Рис. 1*а*



Рис. 1*б*



Рис. 2*а*



Рис. 2*б*

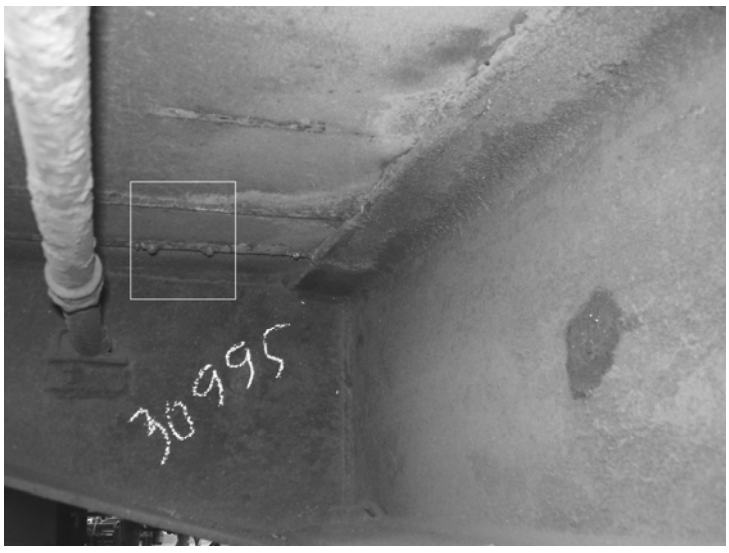


Рис. 3*а*



Рис. 3*б*

Таким образом, применение метода каркасной интерполяции для обработки цифровых фотографий при проведении технической диагностики вагонов позволило получить изображения достаточно высокого качества, которое дало возможность провести анализ дефектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Carlson, B. Image interpolation and filtering [Text] // IEEE Trans. on ASSP. – March 2000. – Vol. ASSP-26, no. 4.
2. Li, X. New edge directed interpolation [Text] / X. Li, T. Orchard // IEEE Trans. on Image Processing. – Oct 2001. – Vol. 10, no. 10. – P. 1521-1527.
3. Когут, П. І. Задачі каркасної інтерполяції статичних зображень [Текст] / П. І. Когут, М. Є. Сердюк // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. – Херсон: ХНТУ, 2007. – Вып. 2 (28). – С. 153-157.
4. Лигун, А. А. Асимптотические методы восстановления кривых [Текст] / А. А. Лигун, А. А. Шумейко. – К.: Ин-т математики НАН Украины, 1997. – 358 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2010.
Принята к печати 17.06.2010.

УДК 621.313.001.4

А. М. АФАНАСОВ (ДИИТ)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПОСОБА КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ ПРИ ИХ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКЕ

Наведено аналіз енергетичних показників процесу компенсації магнітних і механічних втрат у схемах взаємного навантаження тягових електродвигунів з використанням джерела електричної потужності.

Приведен анализ энергетических показателей процесса компенсации магнитных и механических потерь в схемах взаимной нагрузки тяговых электродвигателей с использованием источника электрической мощности.

The analysis of power indices of process of compensation of magnetic and mechanical losses in the charts of mutual loading of hauling electric motors with the use of electric power source is resulted.

Известно два основных способа компенсации магнитных и механических потерь в схемах взаимной нагрузки электрических машин. Это способ компенсации потерь источником механической мощности (дополнительный двигатель) и способ компенсации потерь источником электрической мощности [1]. В первом варианте механическая мощность дополнительного источника непосредственно компенсирует механические и магнитные потери, которые создают тормозные моменты на валах испытуемых электромашин. Во втором варианте для компенсации тормозных моментов, обусловленных магнитными и механическими потерями, требуется предварительное преобразование электрической мощности дополнительного источника в механическую испытуемым двигателем. Реализация такого способа компенсации может быть осуществлена целым рядом технических решений, отличающихся друг от друга самими конфигурациями принципиальных схем. Выбор рациональной конфигурации схемы испытательного стенда для каждого типа тяговых электромашин является одним из направлений решения задачи снижения расходов на их испытания. Критерием рациональности выбранного способа такой компенсации может быть принят условный коэффициент полезного действия процесса преобразования электрической мощности дополнительного источника в добавочную механическую мощность на валу испытуемого двигателя.

Рассмотрим процесс компенсации механических и магнитных потерь в испытуемых электромашинах источником электрической мощности. Такая компенсация обеспечивается за счет превышения электромагнитной мощностью двигателя одноименной мощности генератора [2]. Характер преобразования и передачи мощности в двигателе для данного варианта показан в виде структурной схемы, представленной на рис. 1.

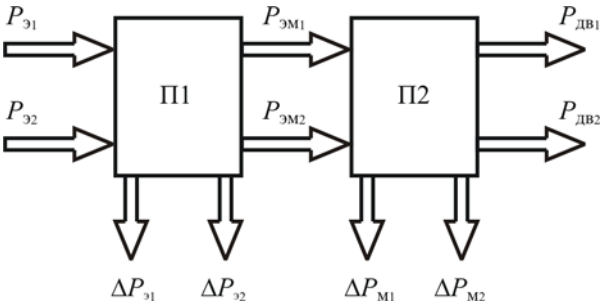


Рис. 1

Условно электрическая машина, работающая в двигательном режиме, энергетически разделена на две части. Первая часть П1 является преобразователем электрической мощности в электромагнитную, вторая часть П2 является преобразователем электромагнитной мощности в механическую.

К двигателю в стенде взаимной нагрузки подводится два условных потока электрической энергии: мощностью $P_{Э1}$ – от цепи испытуемого генератора и мощностью $P_{Э2}$ – от дополнительного источника. В результате преобразования в первой части П1 возникает две условных соответствующих электромагнитной мощности $P_{ЭМ1}$ и $P_{ЭМ2}$.

Отметим, что деление общей мощности двигателя на два потока, как и деление самого двигателя на два преобразователя, условно и вызвано лишь характером принятого метода анализа энергетических процессов. Будем рас-

© Афанасов А. М., 2010

сматривать преобразование условных составляющих мощности независимо друг от друга. При этом будем учитывать, что ни электрические, ни магнитные потери в испытуемом электродвигателе не являются величинами, пропорциональными подведенной электрической мощности, и принцип суперпозиции для данного анализа неприемлем.

Преобразование каждой из электрических мощностей $P_{э1}$ и $P_{э2}$ в электромагнитные мощности $P_{эм1}$ и $P_{эм2}$ сопровождается соответствующими электрическими потерями $\Delta P_{э1}$ и $\Delta P_{э2}$.

В результате преобразования электромагнитных мощностей $P_{эм1}$ и $P_{эм2}$ во второй части двигателя П2 возникает две соответствующих составляющих механической мощности $P_{дв1}$ и $P_{дв2}$. Преобразование каждой из составляющих электромагнитной мощности $P_{эм1}$ и $P_{эм2}$ в механические $P_{дв1}$ и $P_{дв2}$ сопровождается соответствующими механическими и магнитными потерями $\Delta P_{м1}$ и $\Delta P_{м2}$.

Отметим, что все магнитные и механические потери $\sum \Delta P_{м}$ в стенде взаимной нагрузки рассматриваемого варианта компенсируется за счет добавочной электромагнитной мощности электродвигателя [2]

$$\sum \Delta P_{м} = P_{эм2}. \qquad (1)$$

Каждый из процессов преобразования мощности можно охарактеризовать своим условным коэффициентом полезного действия (к.п.д.). Для преобразователя П1 это будет к.п.д. η_{11}, который характеризует преобразование $P_{э1}$ в $P_{эм1}$, и к.п.д. η_{12}, который характеризует преобразование $P_{э2}$ в $P_{эм2}$. Выражения для определения данных к.п.д. будут иметь вид:

$$\eta_{11} = \frac{P_{эм1}}{P_{э1}}; \qquad (2)$$

$$\eta_{12} = \frac{P_{эм2}}{P_{э2}}. \qquad (3)$$

С учетом того, что

$$P_{э2} = P_{эм2} + \Delta P_{э2}, \qquad (4)$$

выражение для определения к.п.д. η_{12} может быть представлено в виде

$$\eta_{12} = \frac{P_{эм2}}{P_{эм2} + \Delta P_{э2}}. \qquad (5)$$

Для преобразователя П2 также будут характерны два к.п.д. преобразований каждой из составляющих мощности $P_{эм1}$ и $P_{эм2}$. Это будет к.п.д. η_{21}, характеризующий преобразование $P_{эм1}$ в $P_{дв1}$ и к.п.д. η_{22}, характеризующий преобразование и $P_{эм2}$ в $P_{дв2}$. Выражения для определения данных к.п.д. будут иметь вид:

$$\eta_{21} = \frac{P_{дв1}}{P_{эм1}}; \qquad (6)$$

$$\eta_{22} = \frac{P_{дв2}}{P_{эм2}}. \qquad (7)$$

С учетом того, что

$$P_{дв2} = P_{эм2} - \Delta P_{м2}, \qquad (8)$$

выражение для определения к.п.д. η_{22} может быть представлено в виде

$$\eta_{22} = \frac{P_{эм2} - \Delta P_{м2}}{P_{эм2}}. \qquad (9)$$

Результирующий к.п.д. преобразования $P_{э1}$ в $P_{дв1}$ определяется как произведение условных коэффициентов η_{11}, η_{21}, и является в своей сущности к.п.д. двигателя $\eta_{дв}$, соответствующим основным составляющим его э.д.с. и силы тока. С допустимой для данного анализа степенью упрощения можно считать этот к.п.д. независимым от дополнительной электрической мощности $P_{э2}$.

$$\eta_{дв} = \eta_{11} \cdot \eta_{21}. \qquad (10)$$

Результирующий к.п.д. преобразования электрической мощности дополнительного источника $P_{э2}$ в добавочную механическую мощность на валу двигателя $P_{дв2}$ может быть определен в виде

$$\eta_{пр} = \eta_{12} \cdot \eta_{22}. \qquad (11)$$

Основная электромагнитная мощность двигателя $P_{эм1}$, которая представляет собою преобразованную электрическую мощность цепи испытуемого генератора $P_{э1}$, определяется в виде

$$P_{эм1} = E \cdot I, \qquad (12)$$

где E и I – основные составляющие э.д.с. и силы тока якоря двигателя, обеспечиваемые мощностью цепи генератора.

Добавочная электромагнитная мощность $P_{эм2}$, которая возникает в результате преобразования электрической мощности дополнительного источника и компенсирует все магнитные и механические потери в стенде взаимной нагрузки, определяется в виде суммы произведений

$$P_{эм2} = \Delta I \cdot E + I \cdot \Delta E + \Delta I \cdot \Delta E , \qquad (13)$$

где ΔE и ΔI – добавочные э.д.с. и сила тока, создаваемые дополнительным источником электрической мощности $P_{э2}$.

Из формулы (13) имеем три варианта условия компенсации магнитных и механических потерь:

а) $$\begin{cases} \Delta E = 0; \\ \Delta I > 0; \end{cases} \qquad (14)$$

б) $$\begin{cases} \Delta E > 0; \\ \Delta I = 0; \end{cases} \qquad (15)$$

в) $$\begin{cases} \Delta E > 0; \\ \Delta I > 0. \end{cases} \qquad (16)$$

Наиболее целесообразными из приведенных вариантов являются варианты «а» и «б» [3]. Вариант «в» является случаем сочетания вариантов «а» и «б».

Примером конструктивного решения варианта «а» является классическая схема взаимной нагрузки с использованием вольтодобавочной машины и подпитки якоря двигателя током линейного генератора. Примером конструктивного решения варианта «б» является схема взаимной нагрузки Потье, в которой положительная разница э.д.с. якорей двигателя и генератора обеспечивается соответствующей разницей токов возбуждения испытуемых электромашин [1].

Рассмотрим особенности энергетических процессов, присущие каждому варианту. Суммарные электрические потери в условном преобразователе П1

$$\Delta P_э = \left(I + \Delta I\right)^2 R , \qquad (17)$$

где R – сопротивление цепи двигателя.

Учитывая, что $\Delta P_э = \Delta P_{э1} + \Delta P_{э2}$, условно разделив общую сумму по выражению (17) на соответствующие составляющие, получим:

$$\Delta P_{э1} = I^2 R ; \qquad (18)$$

$$\Delta P_{э2} = \left(2 \cdot I \cdot \Delta I + \Delta I^2\right) \cdot R . \qquad (19)$$

К потерям $\Delta P_{э2}$ по формуле (19) отнесены все дополнительные электрические потери в двигателе, вызванные добавочным током ΔI. Здесь необходимо отметить, что потери $\Delta P_{э1}$ и часть потерь $\Delta P_{э2}$, равная $I \cdot \Delta I \cdot R$, компенсируется за счет электрической мощности цепи испытуемого генератора $P_{э1}$, а часть потерь $P_{э2}$, равная $\left(I\,\Delta I + \Delta I\right)^2 R$, компенсируется за счет электрической мощности дополнительного источника $P_{э2}$.

Суммарные магнитные и механические потери $\Delta P_{м1}$ и $\Delta P_{м2}$ представляют собою суммы:

$$\Delta P_{м1} = \Delta P_{маг1} + \Delta P_{мех1} ; \qquad (20)$$

$$\Delta P_{м2} = \Delta P_{маг2} + \Delta P_{мех2} , \qquad (21)$$

где $\Delta P_{маг1}$ и $\Delta P_{мех1}$ – магнитные и механические потери в электродвигателе соответственно, обусловленные основной составляющей э.д.с. E;

$\Delta P_{маг2}$ и $\Delta P_{мех2}$ – дополнительные магнитные и механические потери в электродвигателе, обусловленные добавочной э.д.с. ΔE.

Магнитные потери в условном преобразователе П2 при постоянной частоте вращения якоря двигателя [4]

$$\Delta P_{маг} = K_м \left(E + \Delta E\right)^2 , \qquad (22)$$

где $K_м$ – постоянная, зависящая от конструкции электромашины и частоты перемагничивания якоря.

Учитывая, что $\Delta P_{маг} = \Delta P_{маг1} + \Delta P_{маг2}$, условно разделив суммарные потери $\Delta P_{маг}$ по выражению (22) на соответствующие составляющие, получим:

$$\Delta P_{маг1} = K_м E^2 ; \qquad (23)$$

$$\Delta P_{маг2} = K_м \left(2E\,\Delta E + \Delta E^2\right). \qquad (24)$$

К потерям $\Delta P_{маг2}$ по формуле (24) отнесены все дополнительные магнитные потери в электродвигателе, вызванные добавочной э.д.с. ΔЕ.

Отметим, что и потери $\Delta P_{маг1}$, и потери $\Delta P_{маг2}$ компенсируются только за счёт электрической мощности $P_{э2}$ дополнительного источника.

Механические потери в условном преобразователе П2 при неизменной частоте вращения якоря электродвигателя постоянны и не зависят от выбранного варианта их компенсации.

$$\Delta P_{\text{мех1}} = \text{const};\ \Delta P_{\text{мех2}} = 0.$$

Ни добавочный ток якоря ΔI, ни добавочная э.д.с. ΔE не влияют на механические потери в электромашинах $\Delta P_{\text{мех}}$.

Суммарные магнитные и механические потери в преобразователе П2:

$$\Delta P_{\text{м1}} = K_{\text{м}} E^2 + \Delta P_{\text{мех1}}; \quad (25)$$

$$\Delta P_{\text{м2}} = K_{\text{м}} \left(2E\,\Delta E + \Delta E^2\right). \quad (26)$$

Формулы (18), (19), (25), (26), полученные в проведенном анализе, являются общими для любого из трёх вариантов компенсации магнитных и механических потерь источником электрической мощности («а», «б», «в»).

Для варианта «а» будут справедливы частные выражения:

$$\Delta P_{\text{э2}} = \left(2I\,\Delta I + \Delta I^2\right) R; \quad (27)$$

$$\Delta I = \frac{\sum \Delta P_{\text{м}}}{E}; \quad (28)$$

$$\Delta P_{\text{м2}} = 0; \quad (29)$$

$$\eta_{\text{i2}} = \frac{\sum \Delta P_{\text{м}}}{\sum \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{э2}}}; \quad (30)$$

$$\eta_{22} = 1; \quad (31)$$

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{i2}}. \quad (32)$$

Для варианта «б» эти же параметры будут определяться в виде:

$$\Delta P_{\text{э2}} = 0; \quad (33)$$

$$\Delta P_{\text{м2}} = K_{\text{м}} \left(2E\,\Delta E + \Delta E^2\right); \quad (34)$$

$$\Delta E = \frac{\sum \Delta P_{\text{м}}}{I}; \quad (35)$$

$$\eta_{\text{i2}} = 1; \quad (36)$$

$$\eta_{22} = \frac{\sum \Delta P_{\text{м}} - \Delta P_{\text{м2}}}{\sum \Delta P_{\text{м}}}; \quad (37)$$

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{22}. \quad (38)$$

Предварительный анализ выражений (27) – (38) показывает, что выбор рационального варианта компенсации магнитных и механических потерь в схеме взаимной нагрузки будет определяться для заданной типовой мощности испытуемых электромашин номинальным значением тока якоря и относительными значениями каждого из видов потерь (электрических, магнитных, механических). Критерием рациональности для любого из вариантов будет минимум к.п.д. преобразования электрической мощности дополнительного источника в добавочную механическую мощность на валу испытуемого двигателя:

$$\eta_{\text{пр}} \to \min. \quad (39)$$

Полученные в результате проведенного анализа выражения (27) – (38) являются универсальными и будут справедливы для любой конфигурации принципиальной схемы стенда взаимной нагрузки с использованием электрического способа компенсацией магнитных и механических потерь в испытуемых электромашинах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин [Текст] / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
2. Афанасов, А. М. Энергетические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 34-38.
3. Афанасов, А. М. Электромеханические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 42-46.
4. Афанасов, А. М. Универсальные характеристики магнитных потерь в тяговых электрических машинах [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 77-80.

Поступила в редколлегию 20.04.2010.
Принята к печати 19.05.2010.

УДК 629.423 : 621.3.024

Л. В. ДУБИНЕЦЬ, О. О. КАРЗОВА, Ю. С. БОНДАРЕНКО (ДІІТ)

ШВИДКІСТЬ ЗМІНИ СТРУМУ ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ В СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ З УРАХУВАННЯМ ВИХРОВИХ СТРУМІВ

У статті розглянуто питання впливу вихрових струмів на швидкість зміни струму короткого замикання, представлена математична модель для розрахунку струмів короткого замикання в режимі тяги в силових колах електрорухомого складу постійного струму та наведено результати досліджень.

В статье рассмотрен вопрос влияния вихревых токов на скорость изменения тока короткого замыкания, представлена математическая модель для расчета токов короткого замыкания в режиме тяги в силовых цепях электроподвижного состава постоянного тока и приведены результаты исследований.

In the article the issue of influence of vortical currents on rate of change of short circuit current is considered, a mathematical model for the calculation of short circuit currents in the traction mode in the power circuits of DC electric rolling stock is presented, and the research results are given.

ВСТУП

З точки зору значень струму найбільш небезпечним аварійним режимом на електрорухомому складі (ЕРС) є коротке замикання (КЗ). Якщо коло своєчасно не розімкнути, то обладнання буде пошкоджене. Для правильної настройки апаратів захисту необхідно знати характер зміни струму.

МЕТА РОБОТИ

Дослідження кривих короткого замикання, тобто залежності $i = f(t)$, без врахування дії вихрових струмів та з їх урахуванням з метою визначення di/dt для відповідної настройки апаратів захисту на сучасній мікроконтролерній елементній базі. Під відповідною настройкою розуміємо здатність захисного апарату розрізняти по швидкості зміни струму режим короткого замикання від режиму експлуатаційного перевантаження. За рахунок застосування мікроконтролерів скорочується час від моменту початку КЗ до передачі сигналу розімкнення на швидкодіючий вимикач.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети з допомогою математичної моделі [1] проведемо два дослідження: перше – без врахування дії вихрових струмів; друге – з врахуванням цих струмів.

При цьому будемо вважати, що швидкість обертання якоря тягового двигуна постійна, за рахунок того, що КЗ в часі займає зазвичай долі секунд, а тягові електродвигуни (ТЕД) з'єднані з великими інерційними масами і тому швидкість руху електровозу змінитися суттєво не може [2].

Для першого варіанту дослідження математична модель в загальному випадку має наступний вигляд:

$$\begin{cases} n \cdot (L_{\text{я}} + L_{\text{зб}}) \dfrac{di}{dt} = U_{\text{м}} - n \cdot k \cdot \Phi \cdot \omega_{\text{дв}} - n \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{зб}}) \cdot I; \\ c_e \Phi = f(I_{\text{зб}}), \end{cases} \quad (1)$$

де $U_{\text{м}}$ – напруга контактної мережі;

$L_{\text{я}} = L_{\text{оя}} + L_{\text{ко}} + L_{\text{дп}}$ – сумарна індуктивність якірного кола двигуна (обмотки якоря, компенсаційної та додаткових полюсів обмоток);

$L_{\text{зб}}$ – індуктивність обмотки збудження;

$R_{\text{я}} = R_{\text{оя}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{дп}}$ – сумарний активний опір кола якоря двигуна, приведений до 115 °С;

$R_{\text{зб}}$ – активний опір обмотки збудження;

I – струм у колі якоря;

$\omega_{\text{дв}}$ – кутова швидкість обертання вала двигуна;

k – коефіцієнт пропорційності;

Φ – основний магнітний потік;

c_e – постійна двигуна;

© Дубинець Л. В., Карзова О. О., Бондаренко Ю. С., 2010

n – кількість відповідних елементів у колі від точки живлення до точки КЗ.

Для прикладу розглянемо конкретний варіант короткого замикання на одній секції 8-осного електровозу постійного струму при послідовному з'єднанні тягових електродвигунів, коли в колі КЗ два кола якоря та дві обмотки збудження – точка 4 (рис. 1).

У цьому випадку математична модель без урахування дії вихрових струмів має вигляд (2).

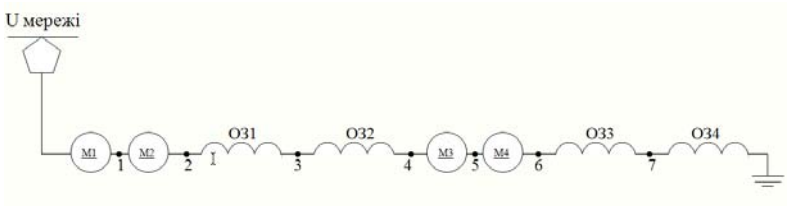


Рис. 1. Варіанти виникнення короткого замикання при послідовному з'єднанні ТЕД однієї секції електровоза

$$\begin{cases} 2\cdot(L_{\text{я}}+L_{\text{зб}})\dfrac{di}{dt}=U_{\text{м}}-2\cdot k\cdot\Phi\cdot\omega_{\text{дв}}-2\cdot(R_{\text{я}}+R_{\text{зб}})\cdot I; \\ c_e\,\Phi=f(I_{\text{зб}}). \end{cases} \tag{2}$$

Для цього дослідження приймемо параметри тягового електродвигуна типу ЕД141-У1 [3]:

$R_{\text{я}}=R_{\text{оя}}+R_{\text{ко}}+R_{\text{дп}}=0,0674$ Ом,

$R_{\text{зб}}=0,0253$ Ом,

$L_{\text{я}}=L_{\text{оя}}+L_{\text{ко}}+L_{\text{дп}}=1,56\cdot10^{-3}$ Гн,

$L_{\text{зб}}=4,9\cdot10^{-3}$ Гн,

$\Phi=0,1045$ Вб,

$I=I_{\text{зб}}=565$ А,

$c_e=984$;

$\omega_{\text{дв}}=19,22$ рад/с,

коефіцієнт пропорційності $k=\dfrac{c_e}{2\cdot\pi}$.

Приймемо початкові умови:

1) напруга контактної мережі $U_{\text{м}}=3000$ В;

2) вважаємо, що КЗ виникло в той час, коли швидкість електровозу була номінальна для з'єднання «С» ($\vartheta=3,14$ м/с), струм якоря при цьому дорівнював номінальному значенню ($I=565$ А).

3) магнітний потік змінюється від значення при $I_{\text{ном}}$.до значення при $(2-2,5)\cdot I_{\text{ном}}$.

Дослідимо швидкість наростання струму короткого замикання з урахуванням впливу вихрових струмів. Відомо, що під дією цих струмів, які виникають у магнітопроводі тягових двигунів ЕРС під час перехідних процесів, зростання магнітного потоку сповільнюється відносно зростання струму.

Для дослідження процесів, що виникають при цих умовах, до записаної раніше математичної моделі (2) додаємо рівняння, які відображають вплив вихрових струмів у магнітопроводі ТЕД на магнітний потік головних полюсів [4]. Отримаємо математичну модель (3), в якій:

w_1 – число витків котушки головних полюсів (ГП);

Φ , Φ_1 – магнітний потік головних полюсів і його основна гармоніка відповідно;

$(\Phi-\Phi_1)$ – сумарний магнітний потік вищих гармонік головних полюсів;

g_{μ} – магнітна індуктивність основної хвилі магнітного потоку ГП;

R_{m1}, R_{mk} – магнітні опори першої та k -ї ділянки магнітної характеристики ГП;

$1,23R_{m1}$ – магнітний опір основній хвилі потоку;

$5,29R_{m1}$ – магнітний опір вищим гармонікам потоку;

F_{ko} – частина МРС k -ї ділянки магнітної характеристики ГП, що створює Φ .

Початкові умови прийняті ті ж самі, що використані для попереднього випадку, коли вихрові струми не враховуються.

$$\begin{cases} 2\cdot(L_{\text{я}}+L_{\text{зб}})\dfrac{di}{dt}=U_{\text{м}}-2\cdot k\cdot\Phi\cdot\omega_{\text{дв}}-2\cdot(R_{\text{я}}+R_{\text{зб}})\cdot I; \\ 1,23R_{m1}\,\Phi_1+g_{\mu}\dfrac{d\Phi_1}{dt}+\Phi(R_{mk}-R_{m1})=w_1 i+F_{ko}; \\ 5,29R_{m1}(\Phi-\Phi_1)+0,477g_{\mu}\dfrac{d(\Phi-\Phi_1)}{dt}+\Phi(R_{mk}-R_{m1})=w_1 i+F_{ko}\ . \end{cases} \tag{3}$$

Отримані за допомогою моделей (2) та (3) залежності $i = f(t)$ наведено на рис. 2.

На рис. 2:

*I*1 – струм короткого замикання без врахування дії вихрових струмів,

*I*2 – струм короткого замикання з урахуванням дії вихрових струмів.

З рис. 2 видно, що значення усталеного струму в обох випадках однакові ($I_{\text{уст.}} = 16130$ А), що й повинно бути з точки зору фізичних процесів. Це ще раз підтверджує адекватність запропонованих математичних моделей.

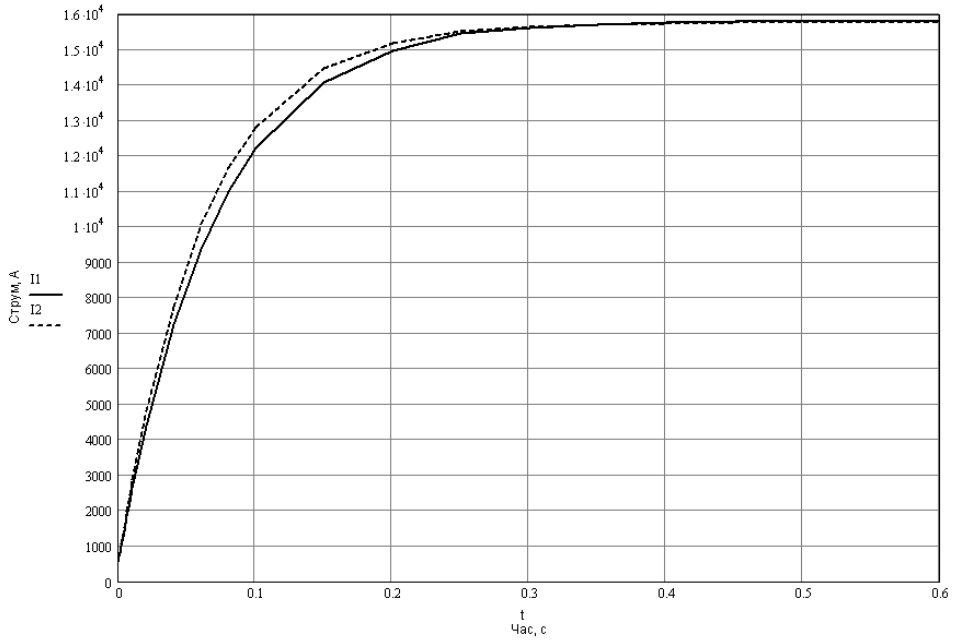


Рис. 2. Порівняння кривих $i = f(t)$

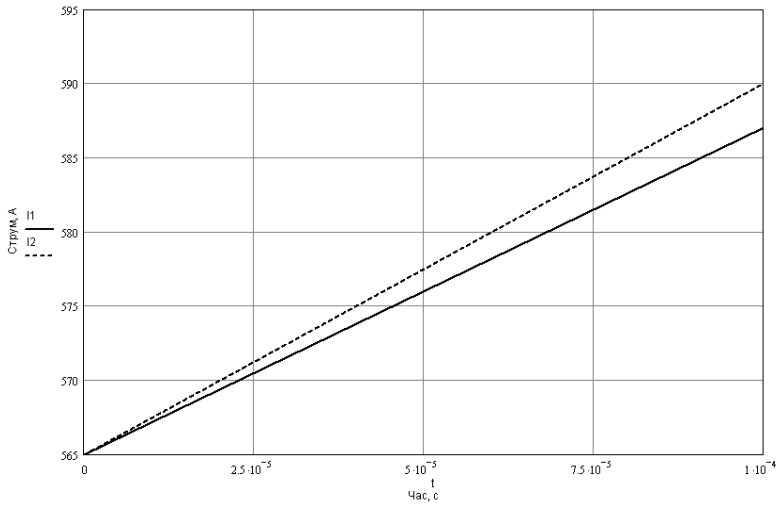


Рис. 3. Знаходження швидкості зміни струму

Для знаходження швидкості зміни струму використаємо рис. 3, на якому показано збільшені за масштабом криві залежності струму короткого замикання від часу з рис. 2 протягом 0,0001 с. Вказаний час визначено властивостями сучасних мікроконтролерів.

Шукаємо di/dt на інтервалі часу від 0 до 0,0001 с, який прийнятий як час реагування апаратури захисту. Відкладемо від нуля по шкалі часу час 0,0001 с, піднімаємо перпендикуляр до кривої струму та отримаємо значення струму для кожної кривої $i = f(t)$.

Поділивши отримані значення струму на 0,0001 с, отримаємо:

$$\frac{di}{dt} = \frac{590 - 565}{0{,}0001} = 250000 \text{ А/с} \quad \text{– із врахуванням вихрових струмів;}$$

$\frac{di}{dt} = \frac{587 - 565}{0,0001} = 220000$ А/с – без врахування вихрових струмів.

Різниця di/dt складає:

$\frac{250000 - 220000}{250000} \cdot 100\% = 12\%$, що суттєво.

Аналогічні дослідження можна провести для будь-якої точки КЗ у колі тягових двигунів при будь-якому їх з'єднанні.

Отримані результати дають можливість раціонально виконати настройку захисної апаратури з урахуванням di/dt.

ВИСНОВКИ

При настройці датчиків апаратів захисту силових кіл електрорухомого складу постійного струму від струмів КЗ швидкість зміни струму потрібно визначати з урахуванням дії вихрових струмів в інтервалі часу від початку короткого замикання до 0,0001 с.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Иоффе, А. Б. Тяговые электрические машины (теория, конструкция, проектирование) [Текст] / А. Б. Иоффе. – М.: Энергия, 1965. – 232 с.
3. Электровоз магистральный ДЭ1. Техническое описание. 3ТП.000.020-03 ТО [Текст]. – 1999. – 188 с.
4. Жиц, М. З. Переходные процессы в машинах постоянного тока [Текст] / М. З. Жиц. – М.: Энергия, 1974. – 112 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2010.
Прийнята до друку 12.05.2010.

УДК 612.317.382 : 621.313.333

Н. А. КОСТИН (ДИИТ)

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ В УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Викладено порівняльну характеристику різних понять і виразів визначення реактивної потужності в колах з несинусоїдними електричними величинами. Для перших українських електровозів типу ДЕ1 системи електричної тяги постійного струму визначено значення реактивної потужності за Будеані, за Фризе, а також диференціальної, інтегральної і узагальненої реактивних потужностей. Запропоновано заходи щодо зменшення її споживання електрорухомим складом постійного струму.

Изложена сравнительная характеристика различных понятий и выражений определения реактивной мощности в цепях с несинусоидальными электрическими величинами. Для первых украинских электровозов типа ДЭ1 системы электрической тяги постоянного тока определены значения реактивной мощности по Будеани, по Фризе, а также дифференциальной, интегральной и обобщённой реактивных мощностей. Предложены мероприятия по уменьшению её потребления электроподвижным составом постоянного тока.

A comparative characteristic of different concepts and expressions for determination of reactive power in the circuits with non-sinusoidal electric values has been given. For the first Ukrainian electric locomotives of DE1 type with the system of DC electric traction, the values of reactive power after Budeany, Fryze, and also the differential, integral and generalized reactive powers have been determined. Some measures on reducing its consumption by the DC electric rolling stock have been suggested.

Введение

Решение проблемы эффективности электроснабжения и электропотребления в системах электрической тяги немыслимо без оценки технологических потерь электрической энергии при её транспортировке до электроподвижного состава (ЭПС). Как известно, эти потери ΔP в проводах питающей линии электропередач и тяговой сети определяют по выражению

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R, \qquad (1)$$

где P и Q – потребляемые нагрузкой активная и реактивная мощности;

U – действующее значение напряжения сети;

R – эквивалентное активное сопротивление проводов питающей электросети.

Наиболее сложной задачей применения выражения (1) является определение реактивной мощности Q, т.к. известны неоднозначность понятий и формул её нахождения в электрических цепях с несинусоидальным напряжением и током [1]. Основными признаками наличия реактивной мощности в указанных цепях, характерных также для систем электрической тяги, являются [2]: неравенство активной и полной мощностей нагрузки ($P \neq S$); отличие от нуля угла сдвига фаз между входными напряжением и током ($\varphi^{(k)} = 0$); наличие возврата электроэнергии из нагрузки в источник; изменение во времени входного мгновенного сопротивления нагрузки. В наибольшей степени (по их количеству) указанным признакам отвечают понятия и выражения реактивной мощности по К. Будеани $Q_{\text{Б}}$ [3], по С. Фризе Q_{Φ} [4], а также дифференциальная Q_d, интегральная Q_J и обобщённая $Q_{\text{об}}$ реактивные мощности [1]. До настоящего времени численное сравнение значений и возможность использования указанных мощностей в научных публикациях отсутствует не только для систем электрической тяги, но и для электросистем промпредприятий. Поэтому целью настоящей работы является, хотя бы частичное, восполнение указанного пробела для системы электрической тяги постоянного тока.

Теоретические предпосылки

Наиболее ранним понятием и выражением реактивной мощности в цепях несинусоидального тока является понятие и формула, известные из теоретической электротехники и современной практики и представляющей собой алгебраическую сумму реактивных мощностей всех гармоник ряда Фурье напряжения и тока:

$$Q_{\text{Б}} = Q^{(1)} + Q^{(2)} + \ldots + Q^{(k)} + \ldots + Q^{(n)} =$$

© Костин Н. А., 2010

$$= \sum_{k=1}^{n} U^{(k)} \cdot I^{(k)} \cdot \sin \varphi^{(k)}. \qquad (2)$$

Эта формула предложена К. Будеани [3] и поэтому $Q_{\text{Б}}$ называют реактивной мощностью по Будеани или мощностью сдвига. Она обусловлена сдвигом по фазе между «одноимёнными» гармониками напряжения и тока. Понимая, что в (2) не учитываются «разноимённые» гармоники напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ вследствие искажения формы $i(t)$, автор [3] ввёл понятие мощности искажения D и определил её как:

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q_{\text{Б}}{}^2)} \ . \qquad (3)$$

Дальнейшим важным развитием «проблемы определения реактивной мощности» является концепция С. Фризе [4], направленная на сохранение существующего классического функционального характера описания энергетических свойств электрических цепей при синусоидальных и несинусоидальных процессах. С этой целью С. Фризе предложил использовать также (как и в цепях синусоидального тока) только две составляющих полной мощности: активную P и неактивную (реактивную по Фризе) Q_{Φ} мощности, определяя последнюю по выражению:

$$Q_{\Phi} = \sqrt{S^2 - P^2} \ . \qquad (4)$$

Величину Q_{Φ} физически можно представить как мощность, среднее значение которой за период равно нулю и которая отвечает энергии, колеблющейся между источником и нагрузкой. При определении P и Q_{Φ} С. Фризе исходил из разложения тока $\underline{I}$ на две ортогональные составляющие ($\underline{I} = I_P + j \cdot I_Q$), одна из которых I_P находится в фазе с напряжением и определяет P ($P = U \cdot I_P$), а другая – I_Q ортогональная к напряжению и определяет Q_{Φ} ($Q_{\Phi} = U \cdot I_Q$). Т.е., мощность Q_{Φ} характеризует степень отклонения действующего значения тока от его минимального возможного значения при данных U и P. Из сравнения выражений (2) и (4) вытекает, что реактивная мощность по Будеани учитывает лишь ту часть консервативного энергопроцесса, которая обусловливает перекрытие спектров гармоник напряжения и тока.

О. Маевским [5] для цепей с несинусоидальными электрическими величинами предложено понятие приведенной (или дифференциальной) реактивной мощности, определяемой как:

$$Q_d = \frac{\omega}{\omega_{\text{п}}} \cdot \sum_{k=1}^{n} k \cdot Q^{(k)} \ , \qquad (5)$$

где $Q^{(k)}$ – реактивная мощность «k-ой» гармоники;

ω – частота основной гармоники;

$\omega_{\text{п}}$ – постоянный коэффициент (с^{-1}), названный частотой приведения.

Если в качестве $\omega_{\text{п}}$ выбрать частоту ω, тогда дифференциальная реактивная мощность определится выражением:

$$Q_{\text{d}} = \sum_{k=1}^{n} k \cdot Q^{(k)} =$$

$$= \sum_{k=1}^{n} k \cdot U^{(k)} \cdot I^{(k)} \cdot \sin \varphi^{(k)}. \qquad (6)$$

В [1] также рассматривается подобная выражению (6) формула так называемой интегральной реактивной мощности Q_J:

$$Q_J = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{k} \cdot Q^{(k)} =$$

$$= \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{k} \cdot U^{(k)} \cdot I^{(k)} \cdot \sin \varphi^{(k)}. \qquad (7)$$

Основываясь на понятиях дифференциальной и интегральной мощностей, авторы работ [6], [1], [7] предложили понятие так называемой обобщённой реактивной мощности $Q_{\text{об}}$:

$$Q_{\text{об}} = \sqrt{Q_d \cdot Q_J} \ . \qquad (8)$$

Как вытекает из вышеприведенного анализа, большинство авторов в своих предложениях по определению реактивной мощности исходят из понятий ортогональной системы мощностей P, Q, S, что часто и приводит к неоднозначным, порой противоречивым, выводам относительно энергопроцессов, протекающих в системе.

В качестве сравнения определим по выражениям (1), (4), (6) – (8) значения реактивной мощности, потребляемой ЭПС постоянного тока.

Результаты численных расчётов и их анализ

Количественная оценка значений реактивной мощности и коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\,\varphi$ была выполнена для первых

украинских электровозов постоянного тока ДЭ1, эксплуатирующихся на Приднепровской железной дороге. Временной интервал Δt дискретизации каждой реализации случайных процессов напряжения на токоприёмнике $U(t)$ и тягового тока $I(t)$, опытно зарегистрированных в 40 поездках, составлял 1 с. Результаты расчётов для 20 поездок представлены в табл. 1.

Таблица 1

№№ поездок	Активная мощность P, $\times 10^6$, Вт	Полная мощность S, $\times 10^6$, ВА	Реактивная мощность					Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$
			по Будеани $Q_Б$, $\times 10^4$, вар	по Фризе $Q_Ф$, $\times 10^6$, вар	дифференциальная Q_d, вар	интегральная Q_J, $\times 10^4$, вар	обобщённая $Q_{об}$, $\times 10^4$, вар	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	2,574	3,285	–4,982	2,041	$1{,}034\cdot10^5$	–3,872	6,328	0,793
2	1,932	2,381	3,53	1,392	$-1{,}792\cdot10^4$	2,655	2,181	0,720
3	3,208	3,906	–4,679	2,229	$-1{,}438\cdot10^5$	–2,81	6,357	0,695
4	1,754	2,263	3,346	1,442	$-1{,}239\cdot10^4$	2,516	1,766	0,822
5	2,694	3,441	4,556	2,14	$7{,}98\cdot10^3$	3,284	1,619	0,794
6	1,636	2,067	1,146	1,265	$-2{,}825\cdot10^4$	1,301	1,917	0,773
7	3,059	3,801	2,684	2,257	$2{,}227\cdot10^5$	2,464	7,408	0,738
8	1,798	2,278	–2,03	1,399	$-5{,}918\cdot10^4$	–2,421	3,785	0,778
9	2,202	2,783	2,642	1,701	$2{,}395\cdot10^4$	2,193	2,292	0,773
10	1,709	1,982	1,531	1,005	$4{,}83\cdot10^4$	1,002	2,2	0,585
11	2,616	3,389	2,63	2,154	$-2{,}572\cdot10^3$	2,803	8,49	0,823
12	1,846	2,242	2,314	1,273	$1{,}45\cdot10^5$	4,924	2,673	0,682
13	2,233	2,791	–2,264	1,674	$-3{,}875\cdot10^4$	–1,927	2,732	0,750
14	1,829	2,129	–1,089	1,09	$-5{,}97\cdot10^4$	–1,066	2,523	0,595
15	1,302	1,531	2,8	1,047	$4{,}855\cdot10^4$	3,855	1,372	0,804
16	2,541	3,157	–0,901	1,874	$9{,}853\cdot10^4$	–3,065	1,738	0,738
17	1,769	2,036	2,592	1,008	$9{,}556\cdot10^4$	2,446	4,834	0,570
18	2,054	2,58	2,58	1,561	$2{,}513\cdot10^5$	1,12	1,678	0,760
19	2,09	2,466	0,6023	1,309	$1{,}673\cdot10^5$	–3,552	2,438	0,626
20	2,478	3,124	–1,854	1,891	$-1{,}048\cdot10^5$	1,195	3,538	0,763

Из таблицы вытекает, что значения и знаки реактивной мощности, рассчитанные по разным предложенным формулам, существенно различаются. При этом наибольшие значения получены для $Q_Ф$ (столбец 5), вероятно, вследствие того, что, в отличие от остальных реактивных мощностей, величина $Q_Ф$ содержит две составляющих: мощность накопления (обмена) и мощность искажения. Мощность обмена обусловлена накоплением энергии в нелинейных индуктивностях силовых цепей электровоза и представляет собой обменную энергию между этими индуктивностями и индуктивными и емкостными элементами подстанционных электрических фильтров.

Отрицательные значения реактивных мощностей $Q_Б$, Q_d и Q_J (столбцы соответственно 4, 6 и 7) обусловлены не знаками напряжения и тока (эти функции положительны), а отрицательным значением («отстающим» характером) угла сдвига фаз $\varphi^{(k)}$ между «k»-ми гармониками напряжения и тока.

Величина реактивной мощности, потребляемая электровозами ДЭ1, является случайной

величиной даже для одного и того же номера электровоза и зависит от массы поезда, профиля участка, квалификации машиниста, интервала и режима ведения поезда. Коэффициент реактивной мощности электровозов $\operatorname{tg}\varphi$ (столбец 9) рассчитанный по Q_Φ, близкий единице (т.е. $Q_\Phi \approx P$), а коэффициент мощности λ колеблется в пределах 0,75…0,87, что является достаточно низким для ЭПС постоянного тока.

Выводы

1. Ни классическое, приводимое в учебниках по теоретической электротехнике, выражение реактивной мощности, ни формулы для дифференциальной, интегральной и обобщённой реактивных мощностей не вытекают из физической сущности реально протекающих энергетических процессов и поэтому их применение неприемлемо для цепей с несинусоидальными электрическими величинами.
2. Из рассмотренных понятий реактивной мощности наиболее приемлемой для составления энергетического баланса и оценки потерь активной энергии в устройствах систем электрической тяги является концепция и выражение реактивной мощности по Фризе.
3. Электровозы постоянного тока являются мощными потребителями реактивной мощности, обусловливающие активные потери в тяговой сети и снижающие качество электроэнергии в системах электротяги.
4. Уменьшение потребления реактивной мощности ЭПС постоянного тока возможно в результате применения следующих мероприятий:

– установки непосредственно на ЭПС компенсирующих устройств реактивной мощности;
– повышения загрузки тяговых двигателей за счёт рационального планирования весов поездов;
– ограничения времени работы электровоза в режиме выбега;
– замены мощных электровозов менее мощными для каждой конкретной железной дороги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баланс энергии в электрических цепях [Текст] / В. Е. Тонкаль [и др.] − К.: Наук. думка, 1992. − 312 с.
2. Костин, Н. А. Неактивная мощность и дополнительные потери в электроподвижном составе постоянного тока [Текст] / Н. А. Костин, О. И. Саблин // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2007. – № 8 (141). – Ч. 2. − С. 49-53.
3. Budeany, C. Problème de la présence des puissances réactives dans les installations de production et distribution d'énergie électrique [Text] / C. Budeany // Rap. et discuss. Sur la puissance réactive. – 1929. – Pt. 3. – P. 117-218.
4. Fryze, S. Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusformigen Verlauf von Strom und Spannung [Text] / S. Fryze // Elektrotechn. Z. – 1932. – 25. – S. 596-599; 26. –S. 625-627; 29. – S. 700-702.
5. Маевский, О. А. Приведенная реактивная мощность цепей с нелинейными элементами [Текст] / О. А. Маевский, Ю. П. Гончаров // Электричество. – 1967. −№ 3. − С. 22-27.
6. Крогерис, А. Ф. Ортогональные составляющие кажущейся мощности в несимметричных несинусоидальных системах [Текст] / А. Ф. Крогерис, Е. П. Трейманис // Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук. – 1983. − № 3. − С. 72-82.
7. Крогерис, А. Ф. Мощность переменного тока [Текст] / А. Ф. Крогерис, К. К. Рашевиц, Я. К. Шинка. − Рига: Физ.-энерг. ин-т Латв. АН, 1993. − 294 с.

Поступила в редколлегию 29.04.2010.
Принята к печати 18.05.2010.

УДК 621.31

А. В. ПЕТРОВ (ДІІТ)

МЕТОДИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИПАДКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ ТА СТРУМУ ФІДЕРА ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Запропоновано способи визначення спектрального складу випадкових функцій напруги та струму фідера тягової підстанції постійного струму. Отримано низькочастотні складові їх спектрів – інтергармоніки.

Предложены способы определения спектрального состава случайных функций напряжения и тока фидера тяговой подстанции постоянного тока. Получены низкочастотные составляющие их спектров – интергармоники.

The methods for determination of spectral composition of random functions of voltage and current of traction substation feeder are proposed. The low frequency components of their spectra (interharmonics) are obtained.

Вступ

Сьогодні на Україні більше ніж 50 % електрифікованого залізничного транспорту електрифіковано за системою тяги постійного струму. Однак, як відомо, напруга і струм фідера тягової підстанції (ТП) не залишаються постійними, а коливаються в досить широких діапазонах. Одразу відзначимо, що коливання можна умовно розподілити на «швидкі» та «повільні». Швидкі коливання, що викликані вищими гармоніками, протікають в часі динамічно (відносно гармоніки основної частоти 50 Гц) і обумовлені застосуванням певного типу випрямляча, роботою тягових двигунів, неідеальністю фільтро-компенсуючого пристрою (ФКП) та рядом інших факторів. Ці коливання давно вивчаються і вирішенню питання про їх вплив і проблеми по їх усуненню написано багато праць [1 – 5]. В той же час, наряду з коливаннями вищих гармонік, існують більш повільні коливання, які обумовлені квазістатичною роботою енергосистеми, наявністю вимушених режимів в тяговій мережі (ТМ), графіком руху, технологічним режимом ведення та масою поїздів, планом і профілем колії тощо. Такі коливання напруг і струмів теж значно погіршують якість та сприяють виникненню додаткових втрат електроенергії, а тому вони мають бути належним чином вивчені і проаналізовані.

Певні дослідження в цій області вже проводилися [6 – 7], але вони торкалися аналізу напруги та тягового струму електрорухомого складу (ЕРС). Тому в цій роботі спробуємо доповнити їх та отримати результати для всієї ТМ постійного струму, тобто на фідерах ТП.

Теоретичні передумови способів аналізу

Експериментальні дослідження показують, що напруга на фідері, на виході ТП і струм в тяговій мережі є випадковими функціями. А тому дослідження з аналізом необхідно виконувати не класичними методами, а із застосуванням математичного апарату теорії випадкових функцій, основним розділом якого є кореляційно-спектральна теорія випадкових функцій. За такого підходу гармонійний склад напруги та струму фідерів буде випадковим. Для розрахунку спектрального складу розглянемо застосування двох методів: спектрально-статистичного та кореляційно-спектрального.

Перший спосіб полягає в застосуванні класичного перетворення Фур'є безпосередньо до самого графіка напруги $U(t)$ на фідері ТП та струму $I(t)$ фідера. Важливою умовою його застосування є вибір такої довжини $T_{\text{р}}$ реалізацій $U(t)$ та $I(t)$, за якої основні ймовірнісні характеристики досліджуваних випадкових процесів не змінюються в часі, тобто за які встигають проявитися всі найбільш характерні їх властивості. Тоді кожну таку реалізацію $U(t)$ та $I(t)$ можна розглядати як детерміновану несинусоїдну функцію не на інтервалі існування $\left[0;\, T_{\text{р}}\right]$, а періодично продовжену за межі цього інтервалу. Тобто, потрібно перетворити неперіодичну функцію в періодичну з довільним періодом $T_{\text{р}}$, для якої буде справедливо розкладання в ряд Фур'є [8]. Проте, оскільки функції $U(t)$ та $I(t)$ неперіодичні несинусоїдні і бувають досить складної форми, тому безпосереднє застосування інтегральних формул

© Петров А. В., 2010

Фур'є для спектрального аналізу цих реалізацій практично ускладнене. Також можливо використовувати швидке перетворення Фур'є, але воно ускладнює спектральний аналіз тим, що потребує рівно 2^m ($m = 1, 2, ..., n$) значень у реалізації випадкової функції. У зв'язку з цим необхідно використання дискретного перетворення Фур'є для отримання спектрального складу реалізацій напруги та струму.

Розглядуваний спосіб дозволяє визначити лише амплітудно-частотну та фазову характеристики деякого конкретного графіка, який є частковим випадком розглядуваної випадкової величини (напруги чи струму), однією з її реалізацій. Однак більшість графіків різкозмінних навантажень містять випадкову складову, яка ускладнює отримання коректних результатів по амплітудах і частотах дискретного спектру гармонік. Необхідно знати, які гармоніки в спектрі реалізації обумовлені переважно випадковими факторами, а які мають властивість стійко проявлятися у всіх реалізаціях, тобто у всьому випадковому процесі.

У зв'язку з цим розглянемо спосіб отримання спектру випадкового процесу за його кореляційною функцією, тобто другим, кореляційно-спектральним, методом.

Кореляційна функція, яка є однією з важливіших характеристик випадкового процесу, характеризує його внутрішню структуру. Вона дозволяє робити висновок про ступінь залежності між значеннями напруги чи струму в різні моменти часу роботи системи тягового електропостачання (ТЕП). Відомо, що оцінку кореляційної функції випадкового процесу, наприклад для струму, визначають за виразом [9]:

$$K_I(\tau) = \frac{1}{T-\tau}\sum_{t=0}^{T-\tau}\left[I(t) - m_I\right]\left[I(t+\tau) - m_I\right], \quad (1)$$

де T – період, на якому задана реалізація випадкової функції напруги (струму);

$I(t)$, $I(t+\tau)$ – відповідно значення випадкової функції в моменти часу t та $(t+\tau)$;

m_I – математичне очікування випадкового процесу.

Виразом (1) рекомендовано користуватися при $\tau < T/5$, оскільки за великих значень τ похибка оцінки кореляційної функції зростає [10].

Відомо [1, 9, 10], що кореляційні функції стохастичних напруг і струмів різкозмінних навантажень часто є незгасаючими зі збільшенням τ, що, в свою чергу, свідчить про неергодичність випадкового процесу. Однією з найбільш імовірних причин неергодичності стаціонарного випадкового процесу є наявність в ньому періодичних складових. Незагасаюча частина кореляційної функції (так званий «хвіст» кореляційної функції) містить в собі ті ж частоти, що і сам випадковий процес [10]. У зв'язку з цим для аналізу спектрального складу періодичних складових напруги та струму фідера доцільно застосовувати перетворення Фур'є не до самого випадкового процесу, а до «хвоста» його кореляційної функції. Це забезпечить фільтрацію періодичних складових від ергодичного випадкового процесу, який буде описаний за допомогою одного з аналітичних виразів кореляційних функцій:

$$K(\tau) = D\mathrm{e}^{-\alpha|\tau|}; \quad (2)$$

$$K(\tau) = D\mathrm{e}^{-\alpha|\tau|}\cos\omega_0\tau; \quad (3)$$

$$K(\tau) = D\mathrm{e}^{-\alpha|\tau|}\left(\cos\omega_0\tau + \frac{\alpha}{\omega_0}\cdot\sin\omega_0|\tau|\right), \quad (4)$$

де D – дисперсія випадкового процесу;

α – коефіцієнт загасання кореляційної функції;

ω_0 – власна частота кореляційної функції.

Представимо напругу (або струм) фідера у вигляді суми випадкового процесу $I'(t)$ із загасаючою кореляційною функцією, що описується одним із виразів (2) – (4), та низькочастотних періодичних коливань:

$$I(t) = I'(t) + \sum_{k=1}^{n} I_m^{(k)}\sin\left(k\omega t + \psi^{(k)}\right), \quad (5)$$

де $I_m^{(k)}$ – постійна амплітуда k-тої періодичної складової випадкового процесу зміни струму фідера;

$k\omega$ – частоти періодичних складових;

$\psi^{(k)}$ – початкові фази.

Таким чином можна виділити із неергодичного випадкового процесу $I(t)$ ергодичну складову $I'(t)$ та визначити, які ж періодичні коливання (по амплітудах та частотах) входять до спектру випадкової функції. Якщо інтервал реєстрацій T випадкового процесу набагато більше за період найменшої з низькочастотних складових, то вираз (1) можна переписати у вигляді:

$$K_I(\tau) = K_I'(\tau) + \sum_{k=1}^{n}\frac{I_m^{(k)2}}{2}\cos(k\omega t), \quad (6)$$

де $K'_I(\tau)$ – будь-яка з кореляційних функцій вигляду (2) – (4).

Таким чином, якщо у випадковому процесі напруги (чи струму) фідера присутні синусоїдні складові, то «хвіст» кореляційної функції буде складатися з косинусоїд тих самих частот, а амплітуди яких дорівнюватимуть половині квадрату амплітуд синусоїдних складових напруги (чи струму) фідера. А, отже, другий доданок в (6) є поправкою на періодичність в ергодичному випадковому процесі $I'(t)$ із загасаючою кореляційною функцією $K'_I(\tau)$.

Результати та аналіз чисельних розрахунків

Для оцінки частотного складу було записано та оброблено 10 добових реалізацій напруги та 29 добових реалізацій струму фідера на деяких ТП Придніпровської залізниці. В якості прикладу, на рис. 1 приведено часові залежності однієї реалізації напруги та однієї реалізації струму фідера, а на рис. 2 – нормовані кореляційні функції, що побудовані за множиною всіх реалізацій цих випадкових процесів.

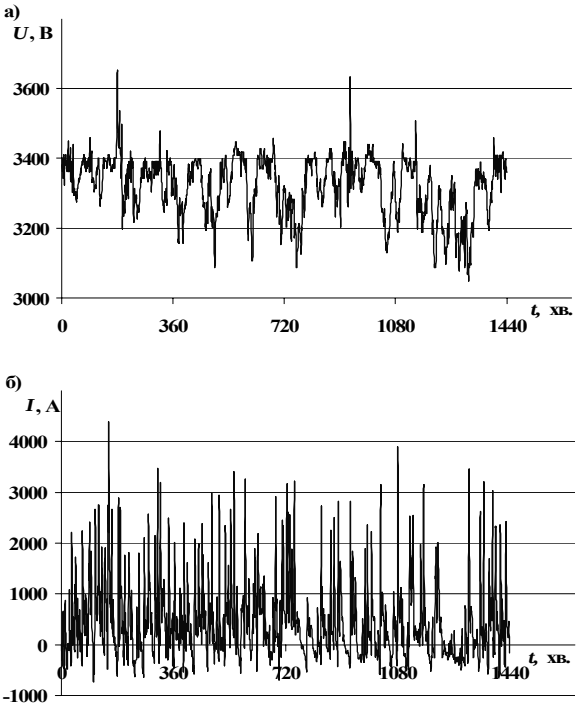


Рис. 1. Часові залежності напруги (*а*) та струму (*б*) фідера ТП

Вигляд кореляційних функції свідчить про наявність у графіках випадкової зміни напруги та струму низькочастотних періодичних складових, які в промисловій електроенергетиці прийнято називати інтергармоніками.

На рис. 3 наведено спектри миттєвих графіків (*а, в*), а також, для порівняння з ними, спектри, що розраховані за кореляційними функціями (*б, г*) випадкових процесів відповідно напруги та струму фідера. Аналіз спектрів, що отриманий за цими методами, показує, що спектр «хвоста» кореляційної функції проріджений у порівнянні зі спектром безпосередньо миттєвого графіку, тобто, він вільний від випадкових коливань та містить в собі лише ті періодичні коливання, які присутні у самому випадковому процесі.

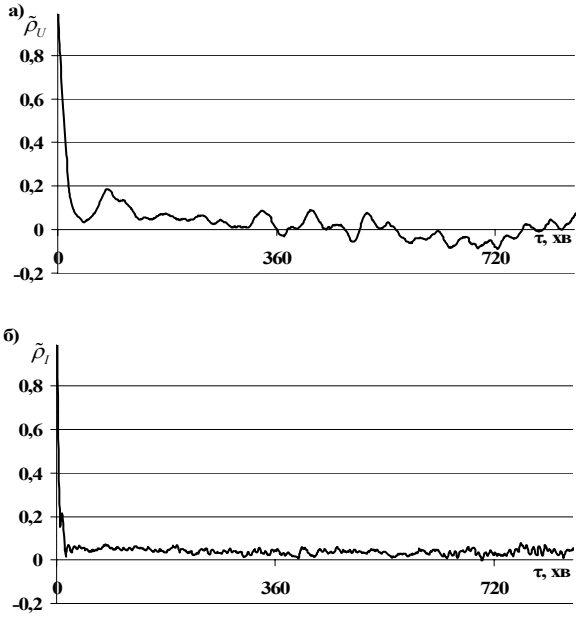


Рис. 2. Кореляційні функції напруги (*а*) та струму (*б*) фідера

Отже, як бачимо, і напруга, і тяговий струм в системі електричної тяги постійного струму зазнають значних коливань, а, як відомо [11], втрати активної енергії у складній електричній системі можна представити залежними від середніх величин діючих значень струмів навантаження, від дисперсії цих струмів (дисперсійна складова) та від моментів подібності графіків навантаження (кореляційна складова). Це свідчить про те, що чим більші коливання навантаження (дисперсійна складова), тим більші втрати активної енергії в системі [12]. Дійсно, за однієї й тієї ж середньої величини діючого значення струму миттєва величина діючого значення цього струму може бути різною. Відповідно при більших її коливаннях втрати активної потужності RI^2 в ТМ також зростають. Тому, розглядаючи значення струму фідера у конкретній реалізації як випадкову величину, електричні втрати активної енергії від коливань струму будуть пропорційні дисперсії (відхиленням від середнього значення) даної випадкової величини.

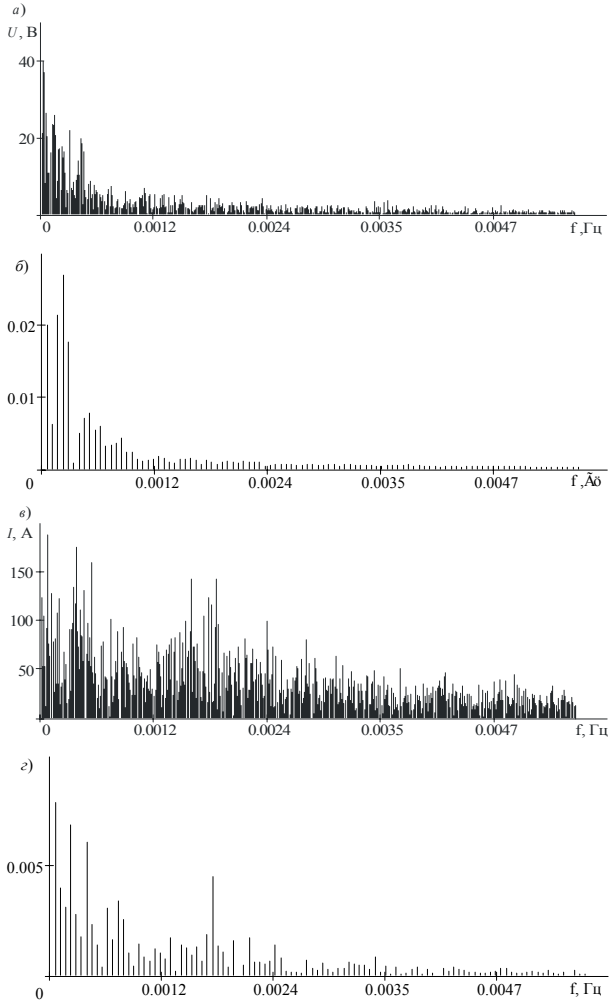


Рис. 3. Спектр напруги фідера: по одній реалізації (*а*) та по кореляційній функції (*б*); спектр струму фідера: по одній реалізації (*в*) та по кореляційній функції (*г*)

В результаті втрати енергії в активних опорах тягової мережі за проміжок часу, що розглядається, від постійної складової тягового струму є неминучі, а втрати від дисперсійної складової (коливальної) – це додаткові втрати, які необхідно, якщо не виключити зовсім, то максимально знизити. Тому при одному й тому ж струмі фідера втрати електроенергії в ТМ менші в тому випадку, коли фактичний струм фідера більш близький до середнього.

Висновки

Таким чином, постає задача зменшення рівня втрат електроенергії в силових колах та лініях електричної тяги від низькочастотних коливань, що присутні в спектрі струму фідера ТП постійного струму. Для цього необхідно застосування ряду заходів, одним з яких є усунення зі струму фідера інтергармонійних складових за допомогою різних технічних пристроїв.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Обратимый преобразователь вольтодобавочного типа для тяговых подстанций электрифицированных железных дорог [Текст] / Н. В. Панасенко [и др.] // Залізн. трансп. України. – 2007. – №4. – С. 76-78.
2. Сиченко, В. Г. Оцінка ефективності функціонування пасивних згладжуючих фільтрів тягових підстанцій постійного струму [Текст] / В. Г. Сиченко, В. А. Зубенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 63-68.
3. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций [Текст] / Б. С. Барковский [и др.]; под ред. М. Г. Шалимова. – М.: Транспорт, 1990. – 127 с.
4. Ягуп, К. В. Подавлення неканонічних гармонік вхідних струмів тягової підстанції [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук / К. В. Ягуп. – Х., 2008. – 20 с.
5. Пекер, Б. Н. Компенсація низькочастотних пульсацій вихідної напруги 6-пульсних керованих випрямлячів [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук / Б. Н. Пекер. – К., 2004. – 20 с.
6. Саблин, О. И. Спектральный анализ случайных функций тягового тока и напряжения на токоприемнике электроподвижного состава [Текст] / О. И. Саблин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 15. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 41-47.
7. Костин, Н. А. Интергармоники тягового тока и напряжения в системах электрического транспорта постоянного тока [Текст] / Н. А. Костин, О. И Саблин, А. В Петров // Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств (збірн. праць). – Маріуполь, 2008. – С. 51-54.
8. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 4 т. – Т. 3. [Текст] / Г. М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1966. – 656 с.
9. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
10. Пугачев, В. С. Введение в теорию вероятностей [Текст] / В. С. Пугачев, – М.: Наука, 1968. – 368 с.
11. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем [Текст] / под. ред. В. Н. Казанцева. – М.: Энергия, 1983. – 368 с.
12. Крогерис, А. Ф. Оценка энергетических процессов по мгновенной мощности [Текст] / А. Ф. Крогерис, К. К. Рашевиц, Э. П. Трейманис // Электричество. – 1987. – № 7. – С. 31-35.

Надійшла до редколегії 29.04.2010.
Прийнята до друку 12.05.2010.

УДК 625.173

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ), С. А. ЛЫКОВА (Сибирское отделение ВНИИЖТ, Иркутск, Российская Федерация), А. А. МАМИТКО (Иркутскжелдорпроект, Российская Федерация)

ИЗМЕНЕНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА ВДОЛЬ КРИВОЙ

Розглядається можливість зміни підвищення зовнішньої рейки вздовж кривої.

Рассматривается возможность изменения возвышения наружного рельса вдоль кривой.

The possibility of changing the outer rail superelevation along constant radius curves is considered.

При движении поездов по достаточно длинной кривой их скорость, как правило, меняется на всем ее протяжении. Возвышение наружного рельса в кривой устанавливается для какой-то одной скорости, поэтому у поездов будут возникать непогашенные ускорения, направленные внутрь или наружу кривой.

Непогашенные ускорения всегда приводят к дополнительному износу рельсов и подвижного состава. В литературе [1 – 7] приводятся данные о характере и величине этих износов. Как правило, рассматривается дополнительный вертикальный износ, вызываемый непогашенным ускорением [6], а для наружного рельса при непогашенных ускорениях, направленных наружу кривой, – еще и дополнительный боковой износ [7].

Зная скорость поезда, возвышение и кривизну в отдельных точках пути, можно определить непогашенное ускорение и оценить дополнительный приведенный износ. Это позволяет организовать оптимизационную процедуру, при которой определяется комбинация возвышений, обеспечивающая минимальный износ для заданного поездопотока. Такая технология реализована в программе РВПлан 3.1, где на основе данных [6, 7] выполняется оценка дополнительного приведенного износа в зависимости от знака и величины непогашенного ускорения.

Рассмотрим возможность установки различных возвышений по длине кривой.

Т.к. переменные возвышения пока не предусмотрены никакими нормативными документами, можно попытаться реализовать такой подход в рамках существующих нормативов. В соответствии с ЦПТ 53 [8] значимым считается отличие в расчетных возвышениях в кривой на уровне 15 мм. И если в многорадиусной кривой для ее отдельных частей (при длине отдельной круговой кривой не меньше 300 м, а в трудных случаях – 100 м) разница в расчетных возвышениях превышает 15 мм, то ЦПТ 53 разрешает устанавливать разные возвышения в таких кривых.

Таким образом, если мы условно представим себе нашу кривую как многорадиусную, но с одинаковыми радиусами, то в рамках ЦПТ 53 будем иметь право рассмотреть возможность установки разных возвышений. Для отвода возвышения между частями предусмотрим фиктивную переходную кривую достаточной длины. Таким образом, при длине круговой кривой больше 230 м уже можно рассматривать варианты с разными возвышениями.

Попробуем сделать расчет величины изменения скорости, при котором возникает целесообразность рассмотрения разных возвышений в пределах одной кривой.

Если взять за основу простейшую формулу для расчета возвышений, то получим для участка с изменением скорости от V до V_2:

$$h = 12{,}5\frac{V^2}{R};$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 12{,}5\frac{V_2^2 - V^2}{R}. \qquad (1)$$

Разность квадратов скоростей представим следующим образом:

$$V_2^2 - V^2 = \left(V_2 - V\right)\left(V_2 + V\right) =$$

$$= \Delta V\left(2V + \Delta V\right). \qquad (2)$$

Подставив значение 15 мм и выражение (2) в формулу (1), получим квадратное уравнение:

© Корженевич И. П., Лыкова С. А., Мамитко А. А., 2010

$$\Delta V\left(2V+\Delta V\right)=\frac{15}{12,5}R=1,2R;$$

$$\Delta V^2+2\Delta V V-1,2R=0.$$

В результате решения этого уравнения получаем формулу, позволяющую выразить через меньшую скорость в кривой и ее радиус приращение скорости, при котором целесообразно устраивать разные возвышения:

$$\Delta V=-V+\sqrt{V^2+1,2R}\ .$$

Приращения скорости в кривой (км/ч), при которых целесообразно (и даже необходимо) устанавливать разные возвышения, для разных радиусов и скоростей приведены в табл. 1. По данным табл. 1 построена диаграмма (рис. 1).

Таблица 1

V, км/ч	Радиус кривой, м									
	300	400	500	600	800	1000	1500	2000	3000	4000
30	5	7	9	10	13	16	22	27	37	45
40	4	6	7	8	11	13	18	23	32	40
50	3	5	6	7	9	11	16	20	28	35
60	3	4	5	6	8	9	13	17	25	32
70		3	4	5	7	8	12	15	22	28
80			4	4	6	7	11	14	20	26
90				4	5	6	9	12	18	24
100					5	6	9	11	17	22
110						5	8	10	15	20
120							7	10	14	19
130							7	9	13	17
140								8	12	16
150								8	12	15
160									11	14

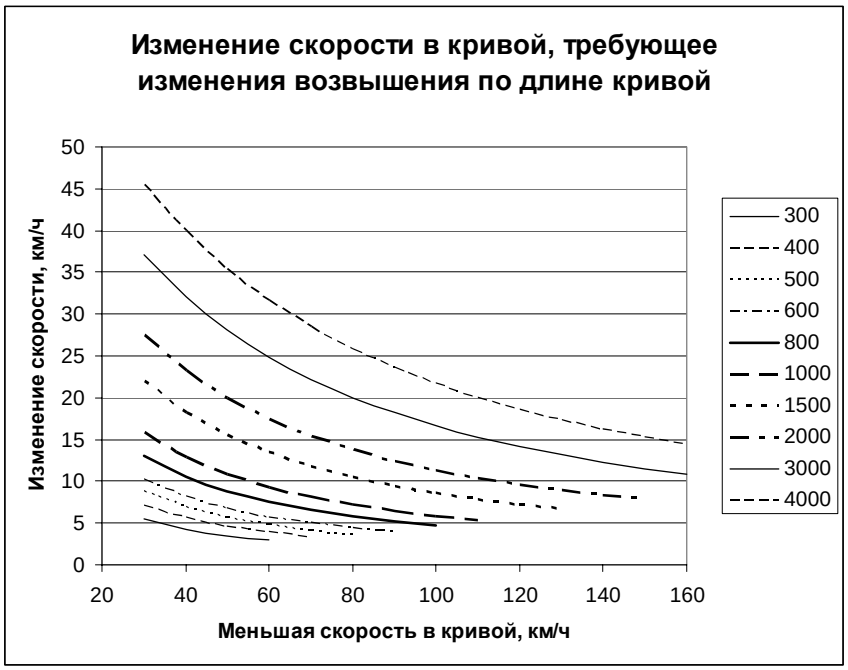


Рис. 1

Как видим, в кривых малого радиуса, в которых проблема износа особо актуальна, возвышение по длине кривой целесообразно менять уже при приращении скорости 3…5 км/ч, что не является чем-то из ряда вон выходящим.

Безусловно, такой подход к устройству возвышения в длинных кривых, в которых скорость поездов меняется на величину большую, чем приведенная в табл. 1, определенным образом усложнит работу путейцев. Но, в то же время, уменьшение боковых воздействий в таких кривых вызовет уменьшение расстройств и облегчит работу путейцев.

Выполним расчет возвышений для круговой кривой радиусом 400 м длиною 1200 м. Переходные по концам кривой не ограничивают скорость движения.

В качестве первого примера рассмотрим вариант с преобладающим грузовым движением.

Примем два типа поездов в поездопотоке – грузовой массой 5 000 т, 25 000 поездов в год и пассажирский массой 1 000 т, 10 000 поездов в год. Скорость грузового поезда вдоль кривой изменялась от 45 до 59 км/ч, а пассажирского от 65 до 79 км/ч (на 1 км/ч через каждые 100 м). Для данного поездопотока была определена средневзвешенная скорость (53,9 км/ч). Расчеты возвышений выполнялись из условия обеспечения минимального дополнительного приведенного износа, вызванного непогашенными ускорениями. Рассматривались различные варианты разбивки кривой на части с разными возвышениями (табл. 2).

Таблица 2

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{max}, м/с^2		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутрь	наружу		
8	1	0,048	0,512	1,712	70-76-79-86-89-96-103-110
8	5	0,060	0,500	1,738	70-80-80-90-90-100-105-110
6	5	0,070	0,501	1,753	75-80-90-95-100-110
4	10	0,092	0,499	1,781	75-90-100-110
3	15	0,100	0,499	1,798	80-95-110
2	20	0,153	0,499	1,868	90-110
1		0,266	0,499	2,018	110
1*		0,144	0,622	3,808	90

* *Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (53,9 км/ч).*

Расчеты показывают, прежде всего, несостоятельность в данном случае использования средневзвешенной скорости для расчета возвышений. Как видим, и ускорения, и износ в этом случае хуже, чем при подборе возвышений из условия минимума дополнительного приведенного износа. При этом износ уменьшается почти в два раза. Еще на 10 % износ можно уменьшить, устроив несколько возвышений вдоль кривой (разбивка кривой на три части с возвышениями 80, 95 и 110 мм).

В качестве второго примера рассмотрим вариант с меньшим пассажирским движением. Количество пассажирских поездов в год примем 2 000. Средневзвешенная скорость в этом случае получается 52,6 км/ч.

Таблица 3

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{max}, м/с^2		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутрь	наружу		
8	1	0,048	0,512	1,217	70-76-79-86-89-96-103-110
8	5	0,060	0,500	1,251	70-80-80-90-90-100-105-110
6	5	0,070	0,501	1,270	75-80-90-95-100-110
4	10	0,092	0,499	1,306	75-90-100-110
3	15	0,100	0,499	1,328	80-95-110
2	20	0,153	0,499	1,417	90-110
1		0,266	0,499	1,602	110
1*		0,113	0,652	3,649	85

* *Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (52,6 км/ч).*

При уменьшении количества пассажирских поездов использование средневзвешенной скорости приводит к еще большему (в 2,3 раза) износу. Применение трех возвышений (80, 95 и 110 мм) дает дополнительно 15 % сокращения износа (табл. 3).

В качестве третьего примера рассмотрим вариант с бóльшим пассажирским движением. Количество пассажирских поездов в год примем 20 000, а грузовых – 5 000. Средневзвешенная скорость в этом случае получается 61,8 км/ч.

Пример показывает, что для участков с преимущественным пассажирским движением эффект от оптимизации по износу существенно меньше. Использование возвышения по средневзвешенной скорости приводит к нарушению ограничения по непогашенному ускорению для грузового поезда (табл. 4).

Таблица 4

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{max}, м/с^2		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутрь	наружу		
8	1	0,300	0,377	1,204	115-121-124-130-134-140-147-130
8	5	0,297	0,377	1,216	115-120-120-130-130-140-140-130
6	5	0,297	0,377	1,224	115-120-125-130-140-130
4	5	0,297	0,377	1,242	115-120-130-130
3	5	0,297	0,377	1,245	115-125-130
2	15	0,297	0,377	1,252	115-130
1		0,297	0,469	1,309	115
1*		**0,328**	0,438	1,265	120

* *Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (61,8 км/ч). Ускорения для грузового поезда превышают допустимые.*

В качестве четвертого примера рассмотрим вариант с достаточно большим грузовым и малым пассажирским движением. Количество пассажирских поездов в год примем 5 000, а грузовых – 35 000. Средневзвешенная скорость в этом случае получается 52,8 км/ч.

Таблица 5

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{max}, м/с^2		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутрь	наружу		
8	1	0,048	0,512	1,840	70-76-79-86-89-96-103-110
8	5	0,060	0,500	1,885	70-80-80-90-90-100-105-110
6	5	0,070	0,501	1,911	75-80-90-95-100-110
4	10	0,092	0,499	1,959	75-90-100-110
3	15	0,100	0,499	1,988	80-95-110
2	20	0,153	0,499	2,107	90-110
1		0,266	0,499	2,357	110
1*		0,113	0,652	5,249	85

* *Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (52,8 км/ч).*

В данном примере (табл. 5) результаты схожи со вторым примером (табл. 3).

На рис. 2 показан график износа левого и правого рельса, а на рис. 3 – максимальные ускорения вдоль кривой для варианта 1*. На рис. 4, 5 показаны такие же графики для варианта 70-76-79-86-89-96-103-110.

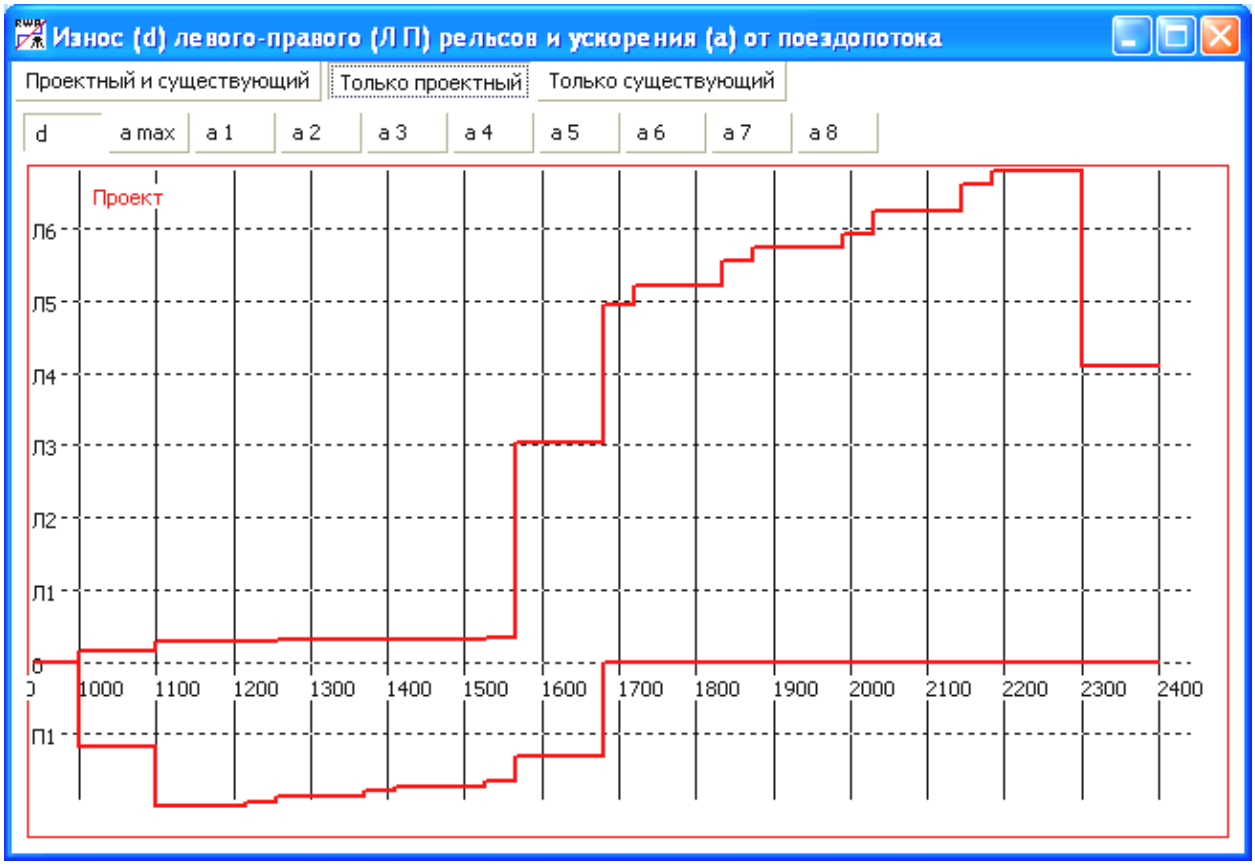

Износ (d) левого-правого (Л П) рельсов и ускорения (a) от поездопотока
Проектный и существующий
Только проектный
Только существующий
d
a max
a 1
a 2
a 3
a 4
a 5
a 6
a 7
a 8
Проект
Л6
Л5
Л4
Л3
Л2
Л1
0
П1
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400

Рис. 2

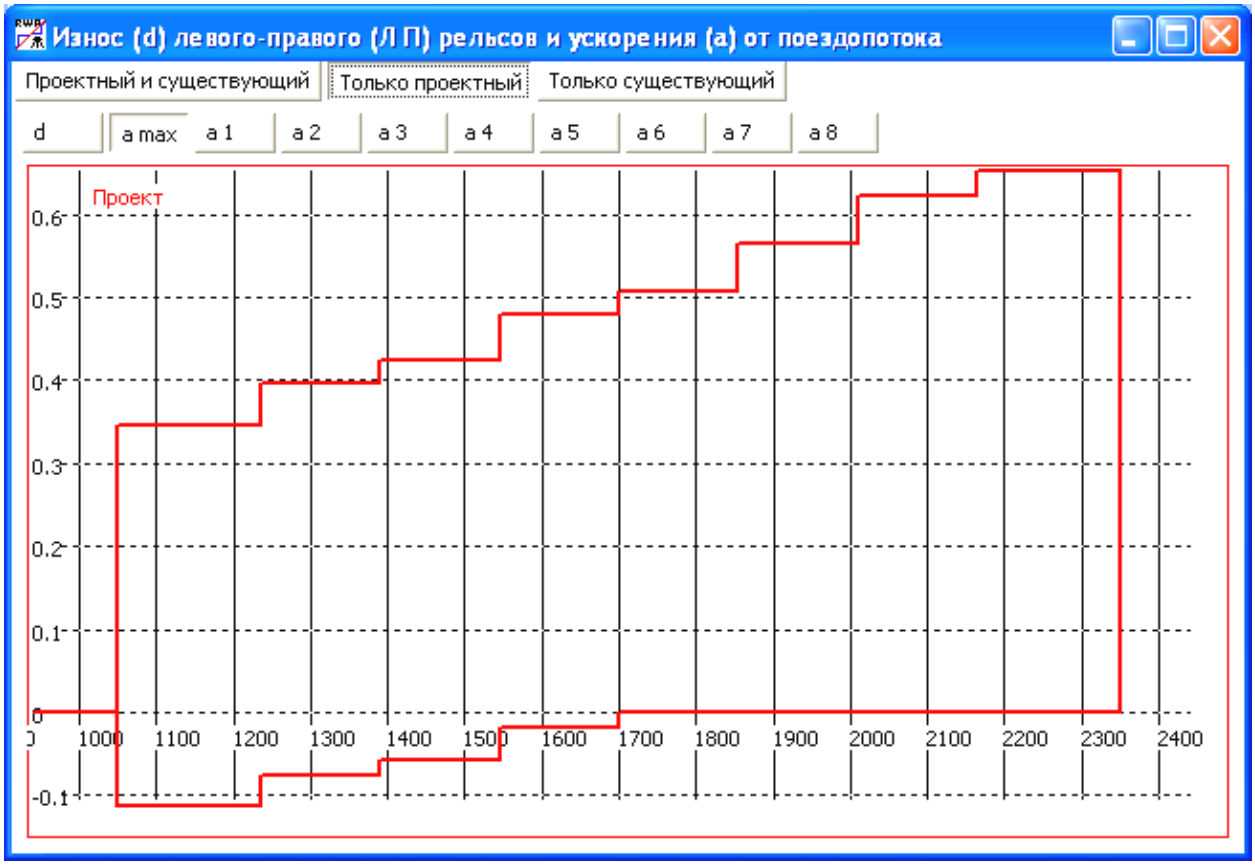

Износ (d) левого-правого (Л П) рельсов и ускорения (a) от поездопотока
Проектный и существующий
Только проектный
Только существующий
d
a max
a 1
a 2
a 3
a 4
a 5
a 6
a 7
a 8
Проект
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400

Рис. 3

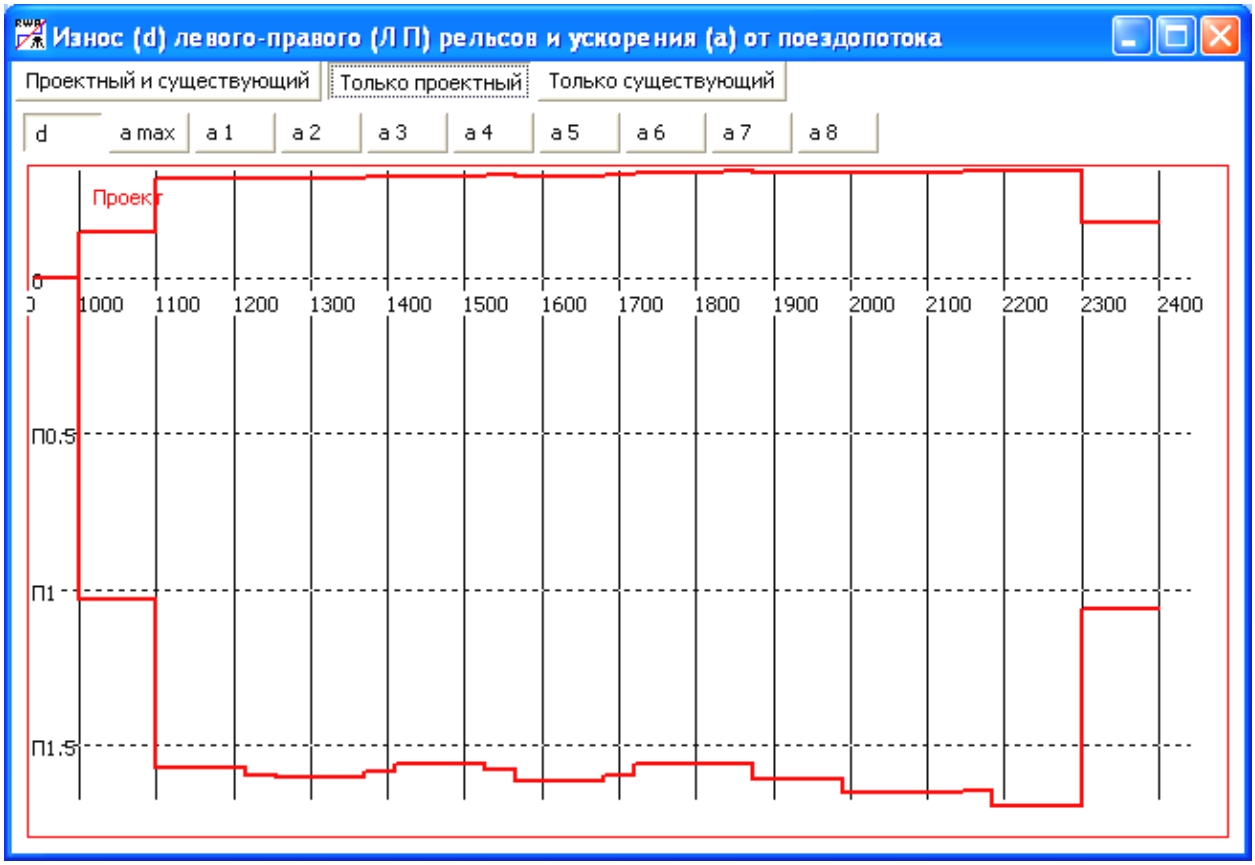

Износ (d) левого-правого (Л П) рельсов и ускорения (a) от поездопотока
Проектный и существующий
Только проектный
Только существующий
d
a max
a 1
a 2
a 3
a 4
a 5
a 6
a 7
a 8
Проект
0
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
П0.5
П1
П1.5

Рис. 4

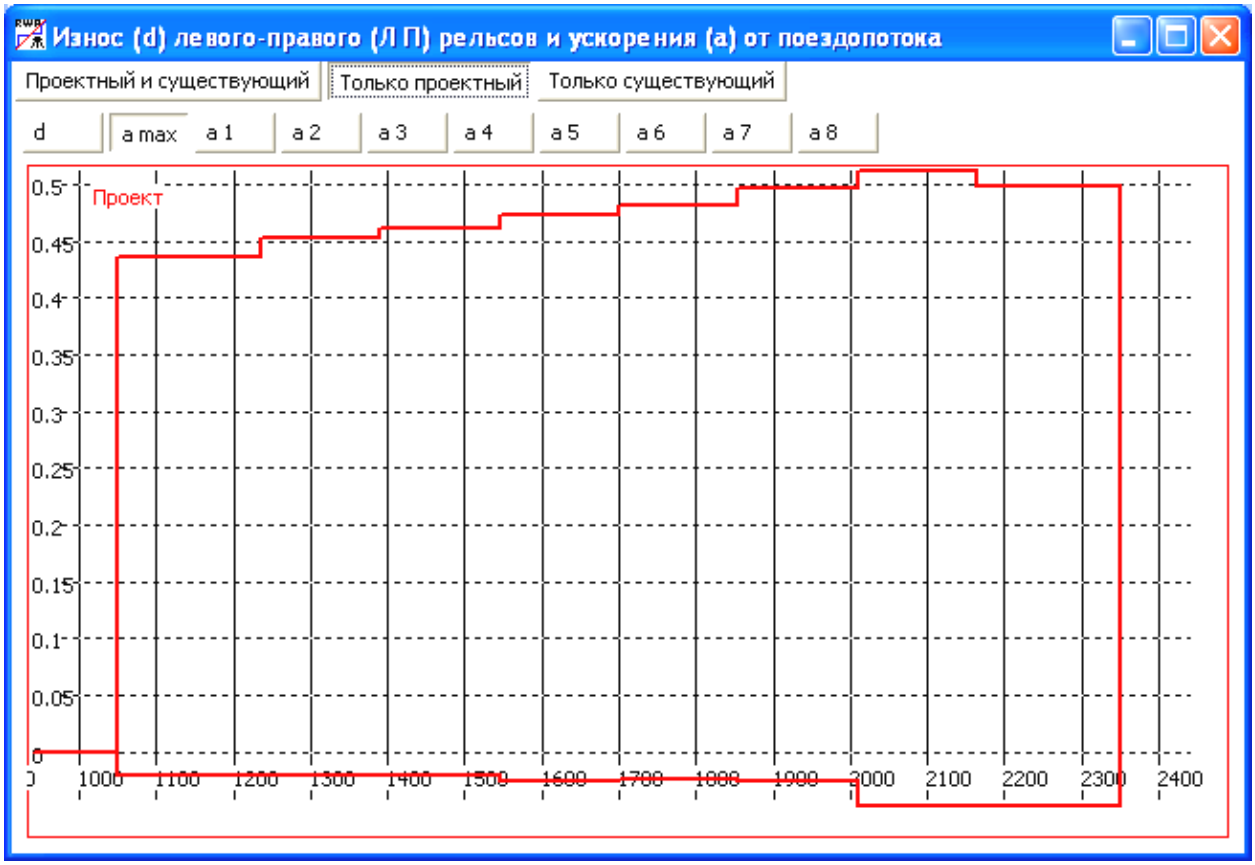

Износ (d) левого-правого (Л П) рельсов и ускорения (a) от поездопотока
Проектный и существующий
Только проектный
Только существующий
d
a max
a 1
a 2
a 3
a 4
a 5
a 6
a 7
a 8
Проект
0.5
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400

Рис. 5

Очевидно, что при преимущественном грузовом движении в длинных кривых малого радиуса, на которых скорость поездов существенно изменяется, следует рассчитывать возвышения, исходя из минимума износа, и рассматривать целесообразность применения нескольких возвышений по длине кривой.

Следует сопоставлять затраты на установку пути в такое положение и его текущее содержание с затратами на замену рельсов и на борьбу с расстройствами пути, которые, естественно, будут тем выше, чем больше непогашенные ускорения.

Безусловно, полученные значения не являются абсолютными, но они достаточно точно характеризуют соотношение износов в разных ситуациях. Для установления более точных зависимостей вертикального и бокового износов от непогашенных ускорений и параметров плана необходимо проведение большого числа экспериментальных измерений.

Кривая скорости строится, как правило, для точки посередине поезда. Т.к. при движении поезда в кривой каждый вагон одну и ту же точку проходит с разной скоростью, определенный интерес представляет также исследование влияния этого фактора на оценку износов и получаемых возвышений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев, Л. П. Взаимодействие колес с рельсами и их износ [Текст] / Л. П. Мелентьев // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 6-13.
2. Редькин, В. И. Износ рельсов стал меньше [Текст] / В. И. Редькин // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 19-21.
3. Буйносов, А. П. Взаимодействие колеса и рельса [Текст] / А. П. Буйносов // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 22-25.
4. Марков, Ю. Н. Возвышение и износ рельсов [Текст] / Ю. Н. Марков // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 1. – С. 31-32.
5. Лысюк, В. С. Превратности научных идей [Текст] / В. С. Лысюк // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 29-32.
6. Карпущенко, Н. И. Параметры колеи и износ рельсов [Текст] / Н. И. Карпущенко, И. А. Осташко // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – № 8. – С. 6-7.
7. Повилайтене, И. Влияние геометрических параметров железнодорожного пути в кривых на боковой износ наружного рельса [Текст] / И. Повилайтене, К. Сакалаускас, И. Подагелис // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 3. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. – С. 46-49.
8. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути. ЦПТ 53 [Текст]. – М.: МПС, 2003. – 151 с.

Поступила в редколлегию 25.05.2010.
Принята к печати 03.06.2010.

УДК 625.113 : 656.2.022.846

Д. М. КУРГАН, М. А. ЗАЯЦ (ДІІТ)

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Наведено методику раціонального розподілу поїздопотоків на мережі залізниць за декількома показниками.

Приведена методика рационального распределения поездопотоков на сети железных дорог по нескольким показателям.

A technique of rational distribution of train traffic streams on the system of railways by a few indices is presented.

Однією з основних задач при модернізації міжнародних транспортних коридорів є відділення вантажного руху від пасажирського [1, 2, 3]. Першим кроком до її вирішення була розроблена в 2007 році Укрзалізницею схема розмежування вантажного та пасажирського руху для підвищення швидкості пасажирських поїздів на окремих ділянках після їх реконструкції. Суміщений рух пасажирських і вантажних поїздів негативно впливає на умови експлуатації і плавність руху, сприяє інтенсивному розладу колії. Ідея розмежування базується на тому, що на мережі залізниць можна виділити станції, між якими існує декілька паралельних маршрутів, що дає можливість частково або навіть повністю закріпити той чи інший маршрут за певною категорією поїздів.

Для вирішення задачі яку кількість поїздів якої категорії по якому саме маршруту треба попускати необхідно враховувати різні показники: довжина маршруту, час руху, механічна робота локомотива, можлива швидкість руху, навантаження на колю та інші. Крім того слід мати на увазі певні граничні умови – такі як об'єм пасажиро- та вантажообігу, пропускна спроможність ділянок, допустима швидкість руху тощо.

Таким чином, розглянута проблема може вирішуватись як математична багатокритеріальна оптимізаційна задача [4]. Для цього мережа залізниць приймається у вигляді графа $G(V, E)$, де станції – це вершини графа (множина V), а ділянки між ними – ребра графа (множина E). Потік поїздів задається у вигляді матриці P_{ij}, $i, j = \overline{1, n}$, де n – кількість станцій, а P_{ij} – кількість поїздів з пункту i в пункт j.

Враховуючи те, що від однієї станції до іншої можна потрапити різними шляхами, відповідно до графа між пунктами i й j існує W_{ij} простих шляхів. Кожне ребро $e \in E$ буде характеризуватися трьома параметрами:

$d(e)$ – довжина ребра e;

$t(e)$ – час руху поїзда по ребру e;

$m(e)$ – механічна робота при русі поїзда по ребру e.

Позначимо через $X_{i,j,w}$ кількість поїздів, що рухаються із пункту i в пункт j по ω-му простому шляху з переліку W_{ij}.

Тоді

$$P_r = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \sum_{w \in W_{ij}} P(w) X_{i,j,w} \to \min, \qquad (1)$$

де $P(w)$ – сумарне значення показника простого шляху w з переліку W_{ij}.

Мінімальне значення P_r визначаємо з урахуванням поїздопотоків, тобто

$$\sum_{w \in W_{ij}} X_{i,j,w} = P_{ij}; \quad i = \overline{1, n-1}; \quad i+1 \le j \le n. \qquad (2)$$

До даних обмежень додається обмеження за пропускною спроможністю кожного ребра:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \sum_{w \in W_{ij}} I_w(e) X_{i,j,w} \le N(e); \; e \in E, \qquad (3)$$

де $I_w(e)$ – індикатор ребра e для шляху w,

$$\begin{cases} I_w(e) = 1, e \in w; \\ I_w(e) = 0, e \notin w, \end{cases}$$

$N(e)$ – пропускна спроможність ребра e.

© Курган Д. М., Заяц М. А., 2010

Можна розглядати різні показники оптимізації: поїздо-кілометри (P_1), поїздо-години (P_2), механічну роботу локомотива (P_3). Так, поїздо-кілометри і тонно-кілометри (брутто) відображають технічну і вантажну роботу залізниць, поїздо-години – середню швидкість руху поїздів, а механічна робота локомотива – витрати електроенергії чи дизельного палива.

$$P_1 = \sum_{i,j\in V}\sum_{w\in W_{ij}} d(w)X_{ijw};$$
$$P_2 = \sum_{i,j\in V}\sum_{w\in W_{ij}} t(w)X_{ijw};$$
$$P_3 = \sum_{i,j\in V}\sum_{w\in W_{ij}} m(w)X_{ijw}, \qquad (4)$$

де

$$d(w) = \sum_{e\in w} d(e);$$
$$t(w) = \sum_{e\in w} t(e);$$
$$m(w) = \sum_{e\in w} m(e). \qquad (5)$$

Можна вирішувати як задачі лінійного програмування (задачі 1 – 3), так і задачі векторної оптимізації у лінійній постановці (задачі 4 – 7):

Задача 1.

$$P_1 \to \min \quad P_2 \le \overline{P_2}; \quad P_3 \le \overline{P_3};$$

Задача 2.

$$P_2 \to \min \quad P_1 \le \overline{P_1}; \quad P_3 \le \overline{P_3};$$

Задача 3.

$$P_3 \to \min \quad P_1 \le \overline{P_1}; \quad P_2 \le \overline{P_2};$$

Задача 4. $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} \to \min \quad P_3 \le \overline{P_3};$

Задача 5. $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_3 \end{pmatrix} \to \min \quad P_2 \le \overline{P_2};$

Задача 6. $\begin{pmatrix} P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \to \min \quad P_1 \le \overline{P_1};$

Задача 7. $\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \to \min,$

де $\overline{P_i}$ – максимально допустиме значення i-того показника.

Наприклад, для розв'язання задачі 4 у просторі функціоналів (P_1, P_2) вводимо одиничний вектор u з координатами:

$$\begin{cases} u_1 = \cos\varphi; \\ u_2 = \sin\varphi \end{cases} \qquad (6)$$

і розглядаємо задачу

$$L = t \to \min, \qquad (7)$$

де L – показник раціональності,
за умови

$$\begin{cases} P_1 = u_1 \cdot t; \\ P_2 = u_2 \cdot t; \\ P_3 \le \overline{P_3}, \end{cases} \qquad (8)$$

враховуючи зазначені вище обмеження.

Для $\varphi \in [\varphi_1; \varphi_2]$ отримуємо рішення $X_{ijw}(\varphi)$ і значення $P_1(\varphi), P_2(\varphi), P_3(\varphi)$ з кроком $\Delta\varphi$, де φ представляє собою співвідношення механічної роботи до часу руху, φ_1 – відношення мінімального значення механічної роботи до часу ходу, а φ_2 – відношення механічної роботи до мінімального часу руху. Кількість таких варіацій залежить від кроку $\Delta\varphi$.

На прикладі мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ, було виконано дослідження з визначення раціонального розподілу пасажирських та вантажних поїздів. При організації швидкісного сполучення між Києвом і Львовом постає питання вибору найбільш ефективного варіанту маршруту доставки пасажирів.

Відповідно до графіку руху [5, 6] на рис. 1 показано існуючі маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом. Так, швидкий поїзд № 7/8 Київ –Чоп «Дукла» рухається через ст. Жмеринка (південний варіант). Довжина маршруту до Львова 622 км, середня маршрутна швидкість близько 65 км/год. Поїзд № 43/44 Івано-Франківськ – Київ «Прикарпаття» рухається за маршрутом Львів – Здолбунів – Шепетівка – Коростень – Київ (північний варіант). Довжина маршруту від Львова до Києва 565 км, середня маршрутна швидкість близько 64 км/год. За цим же маршрутом курсує прискорений поїзд № 169/170 Київ – Львів «Київський експрес» із маршрутною швидкістю 88 км/год. Між північним і південним варіантами є проміжні. Наприклад, поїзд № 147/148 Київ – Львів «Львів» за наказом може курсувати за маршрутом Київ – Козятин – Шепетівка – Здолбунів – Львів. Довжина маршруту 568 км, середня ходова швидкістю близько 73 км/год.

Кожний варіант має як свої плюси, так і мінуси.



Рис. 1. Існуючі маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом:
північний: Київ – Коростень – Шепетівка – Здолбунів – Львів; південний: Київ – Жмеринка – Львів;
проміжний: Київ – Козятин – Шепетівка – Здолбунів – Львів.

Північний варіант (Київ – Коростень – Здолбунів – Львів) у якості переваг має такі аргументи:

- Північний хід майже на 60 км коротший від південного варіанту.

- Пасажирообіг між Києвом і Львовом складає близько 4 тис. чоловік на добу. Швидкісний поїзд буде цілком завантажуватися від початкової до кінцевої станції, і відсутність великих обласних центрів на цьому напрямку не впливає на організацію перевезень, оскільки як немає потреби в проміжних зупинках.

- Складовою частиною південного варіанту є вантажонапружена ділянка Київ – Козятин, де зараз курсує більш як 60 пар поїздів (рис. 2 і 3). У північному варіанті ця ділянка не задіяна і додаткового навантаження на неї не очікується.

Південний варіант (Київ – Жмеринка – Львів має багато обласних центрів. Після проведення реконструкції ділянки від Києва до Жмеринки, а потім на Львів, будемо мати половину готового шляху за напрямком від столиці до Одеси.

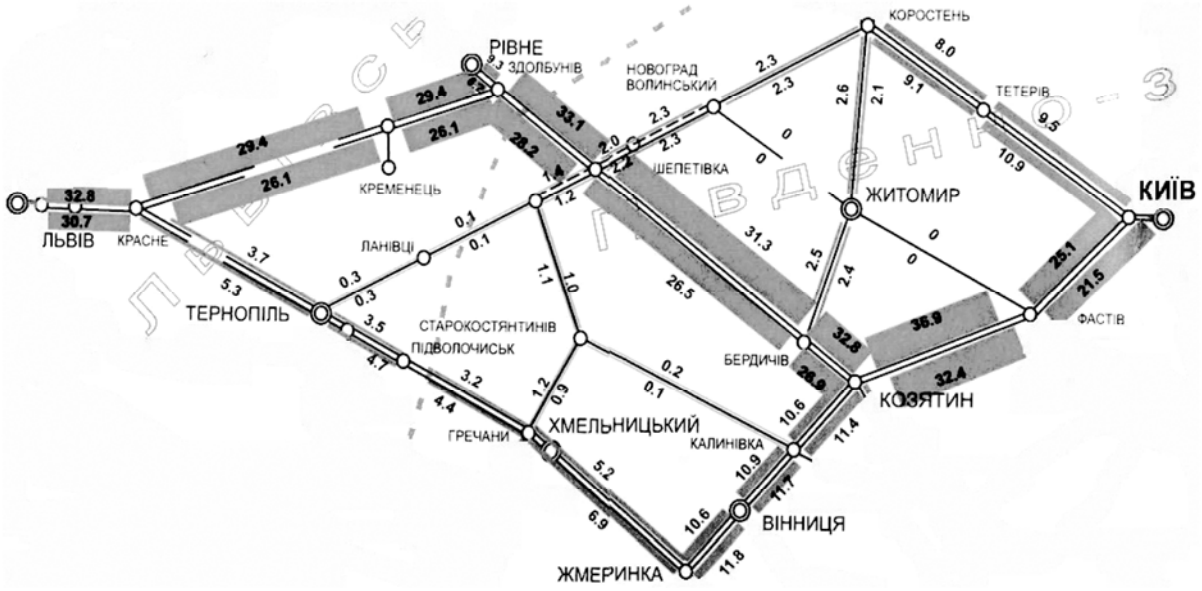


Рис. 2. Розміри вантажного руху (поїздів на добу)

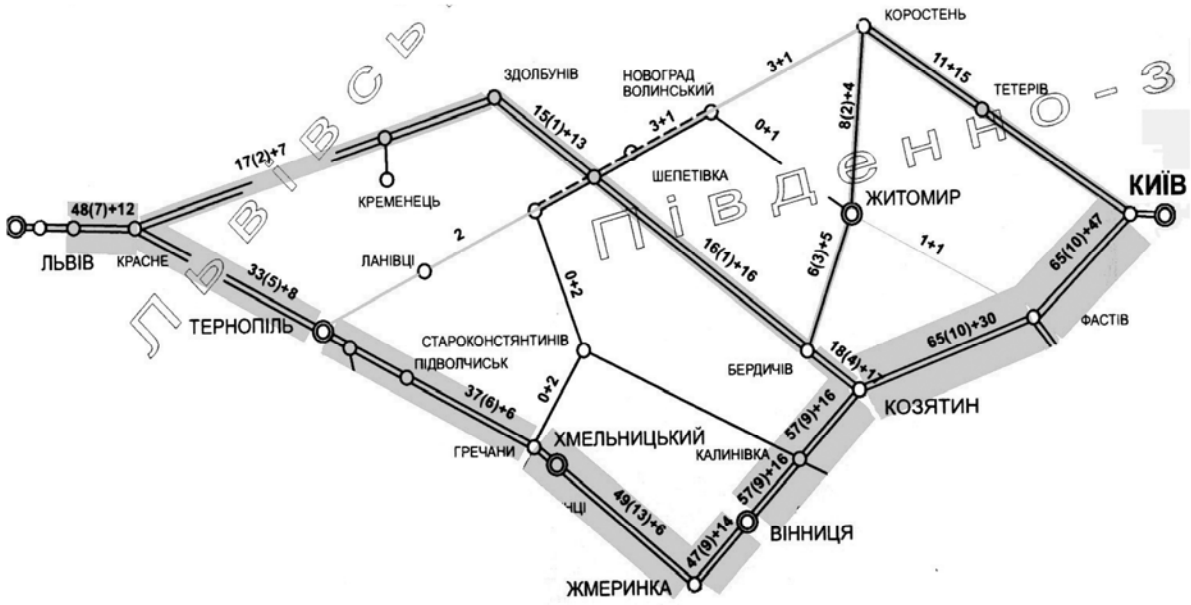


Рис. 3. Розміри пасажирського руху (пар поїздів на добу: щорічні (в тому числі літні) + приміські)

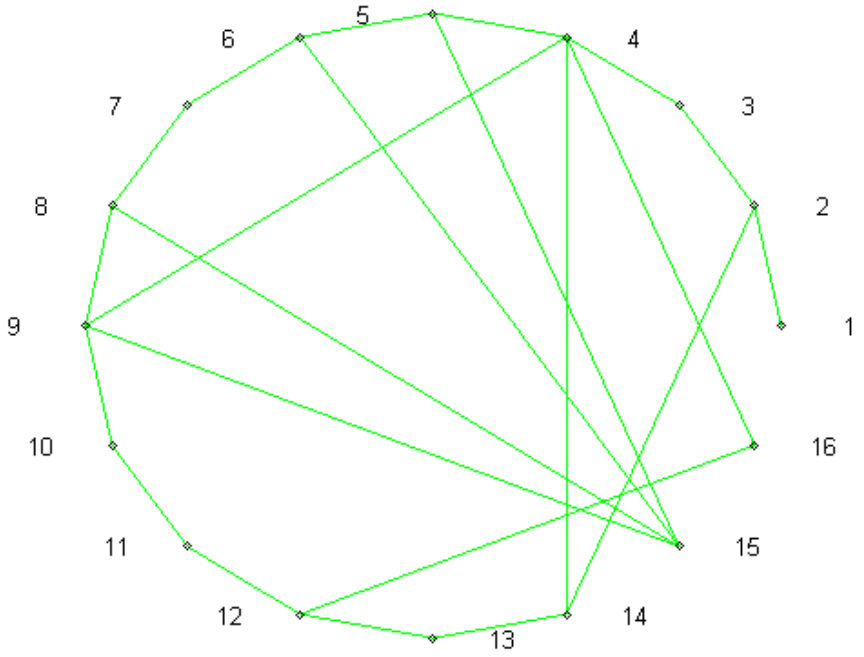


Рис. 4. Математична модель мережі у вигляді графа $G(V, E)$

Для розв'язання задачі відповідно до мережі шляхів (рис. 1) створювалась математична модель у вигляді графа $G(V, E)$ – рис. 4, та матриця потоку поїздів, яка відображає кількість поїздів, що прямують з початкової до кінцевої станції. Далі кожне ребро графа характеризувалось довжиною, часом руху та механічною роботою. При цьому задається обмеження за пропускною спроможністю ребра в залежності від кількості колій на ділянці та обмеження за довжиною маршруту. Із врахуванням усіх показників було знайдено рішення за критерієм відношення механічної роботи до часу руху (φ) в межах від найменшого часу руху до найменшої механічної роботи.

Нижче наведено варіанти співвідношень механічної роботи та часу руху за різних значень φ з кроком $\Delta\varphi = 0{,}001$ та $\Delta\varphi = 0{,}0002$ (рис. 5 і 6).

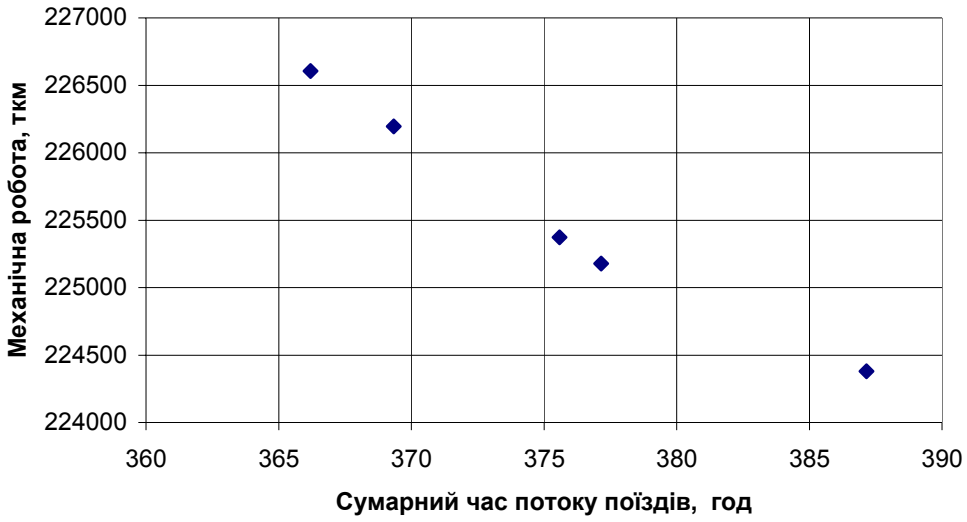


Рис. 5. Варіанти співвідношень механічної роботи і часу ходу
для пасажирських поїздів туди при $\Delta\varphi = 0{,}001$

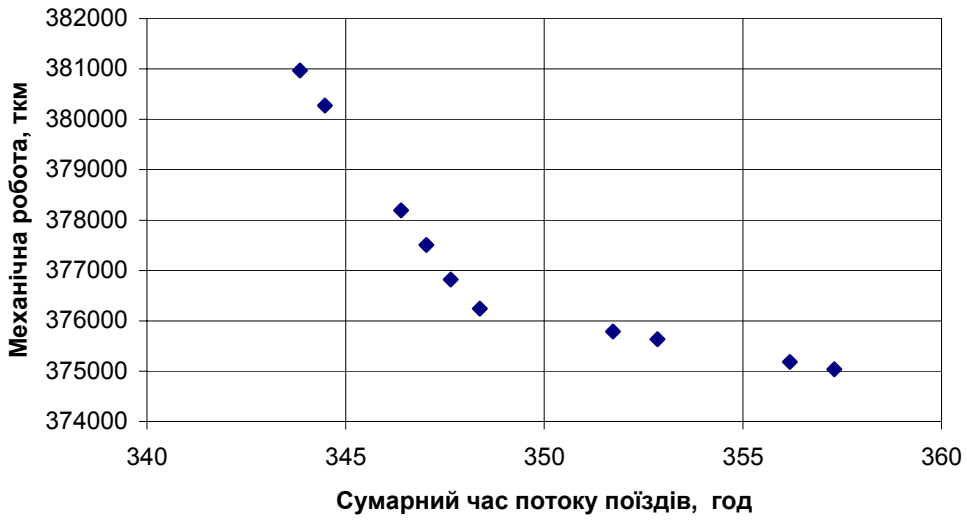


Рис. 6. Варіанти співвідношень механічної роботи і часу ходу
для вантажних поїздів назад при $\Delta\varphi = 0{,}0002$

Значення з найменшою механічною роботою та часом руху і є найраціональнішим. Для даного значення φ на рис. 7 показано розподіл пасажирських поїздів, які прямують з Києва до Львова. Такі ж розрахунки були виконанні для вантажних поїздів.

Висновки

Запропонована методика дозволяє обґрунтовано обрати найбільш придатний варіант розподілу потоку поїздів як за одним, так і за декількома показниками одночасно. Раціональний розподіл дає змогу зменшити витрати на пробіг поїздів, утримання колії та скоротити час руху.

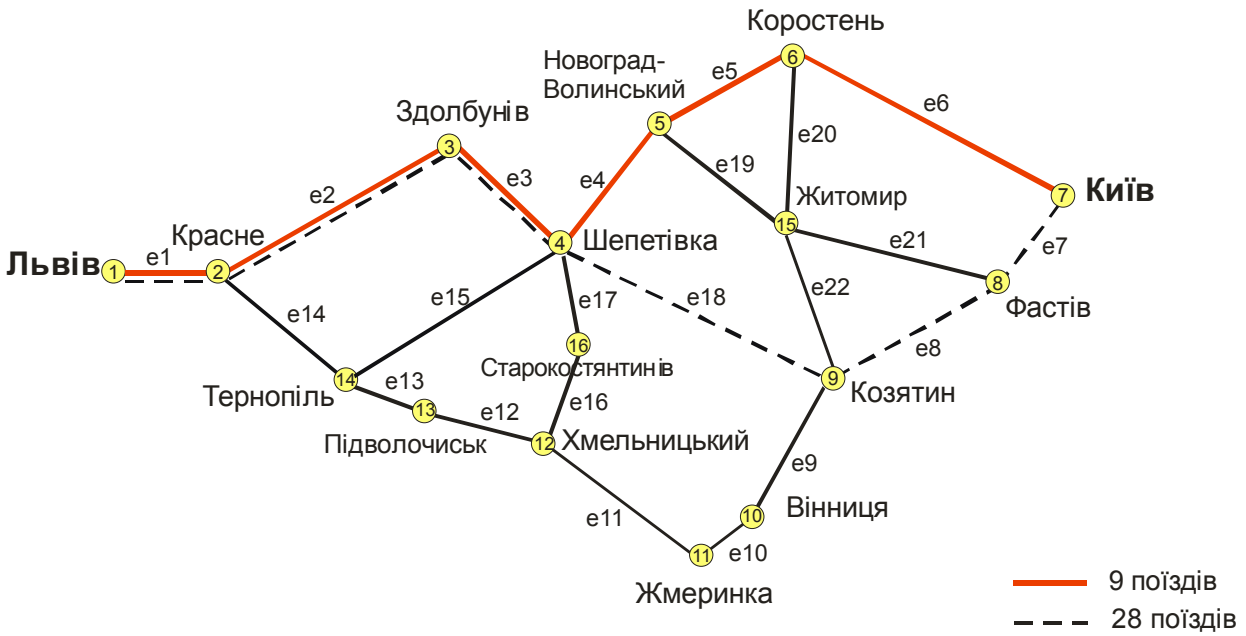


Рис. 7. Раціональний розподіл 37 пасажирських поїздів,
що слідують зі Львова до Києва між паралельними ходами

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Текст]. – К., 2004. – 43 с.
2. Кірпа, Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему [Текст] : монографія. – 2-е вид., перероб. і доп. / Г. М. Кірпа. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
3. Підсумки роботи транспортно-дорожнього комплексу та галузі зв'язку у 2007 році [Текст] / засідання колегії Міністерства транспорту та зв'язку 26.02.2008. – К., 2008.
4. Босов, А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу [Текст] : монографія / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. – Д., 2005. – 199 с.
5. Службовий розклад руху пасажирських поїздів 2008-2009 рр. [Текст]. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 1009 с.
6. Наказ про встановлення найбільших швидкостей руху поїздів на дільницях, вітках і станціях Львівської залізниці №749/Н від 19.09.2007 р. [Текст].

Надійшла до редколегії 03.06.2010.
Прийнята до друку 15.06.2010.

УДК 656.224/.225.004.4

М. Б. КУРГАН, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА, М. М. ЧЕРНЯКОВ (ДІІТ)

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗМЕЖУВАННІ ВАНТАЖНОГО Й ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ

Встановлено аналітичні залежності витрат електроенергії від середніх значень ухилів на ділянці, маси поїзда і вантажонапруженості.

Установлены аналитические зависимости затрат электроэнергии от средних значений уклонов на участке, массы поезда и грузонапряженности.

The analytical dependences of electric energy losses on average track section gradient values, train mass and freight traffic density are determined.

Загальні положення. Мета дослідження

Для прискорення процесу інтеграції залізничного транспорту України в міжнародну транспортну систему країн європейського економічного співтовариства, розроблені проект «Євро 2012», програма енергозбереження на залізничному транспорті, спеціалізація напрямків для розмежування вантажного й пасажирського руху тощо (рис. 1).

В Україні прийнято «Стратегію розвитку залізничного транспорту до 2020 року» [1], яка передбачає модернізацію залізничних ліній за напрямками міжнародних транспортних коридорів, подальшу електрифікацію залізничних ліній з інтенсивним рухом вантажних поїздів, підвищення швидкості руху вантажних поїздів до 100…120 і пасажирських – до 160…200 км/год, зниження питомих витрат енергоресурсів.

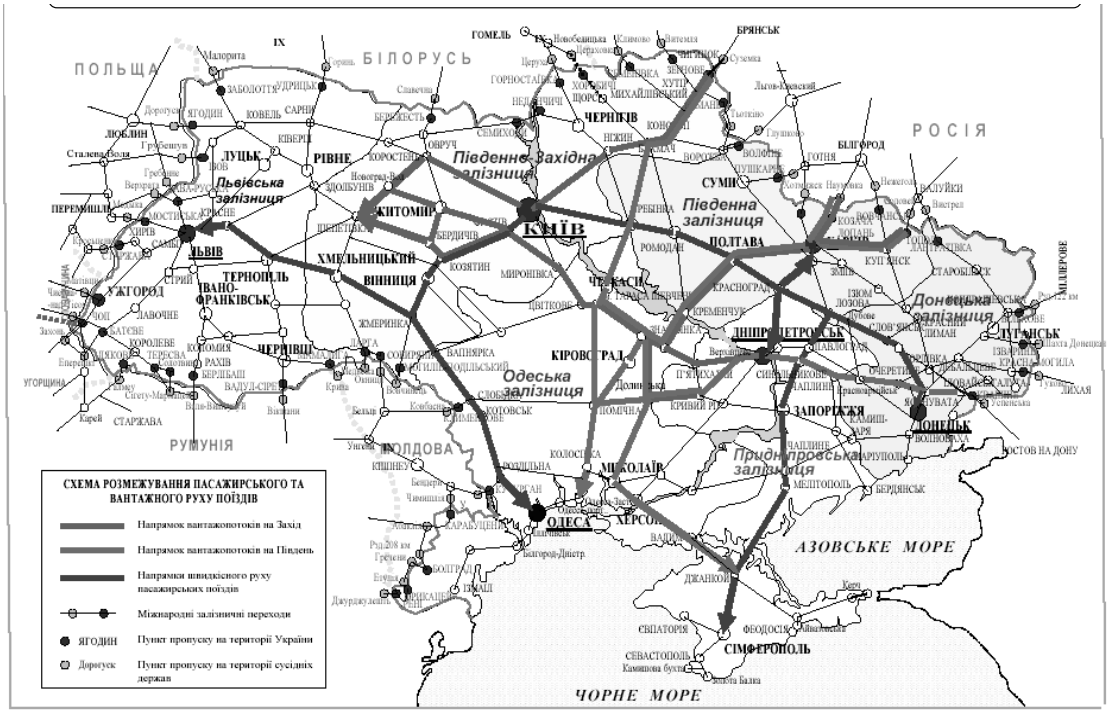


Рис. 1. Схема розмежування пасажирського та вантажного руху

Розглянемо більш детально питання енергозбереження ресурсів, необхідність вирішення якого наголошується в «Стратегії …».

Використання електричної тяги при перевезенні вантажів і пасажирів за останні десять років складає від 83 до 86 % у вантажному русі і близько 80 % у пасажирському русі [2]. Тому було виконано подальші дослідження стосовно електричної тяги.

© Курган М. Б., Хмелевська Н. П., Черняков М. М., 2010

Як випливає з розрахунків, результати яких наведено на рис. 2, спостерігається стабільне зниження питомих витрат на одиницю роботи на електрифікованих напрямках залізниць.

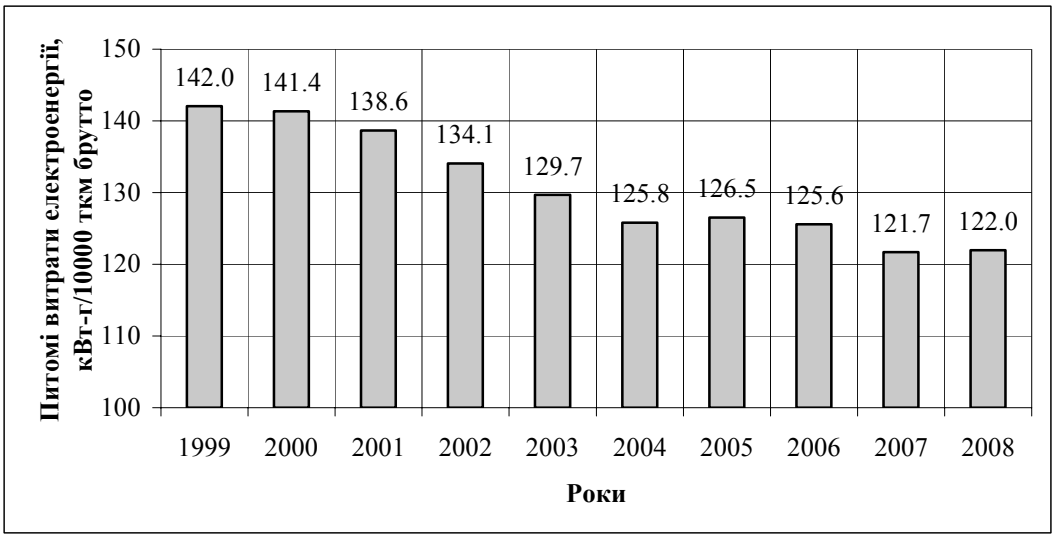


Рис. 2. Динаміка питомих витрат електроенергії при електричній тязі

Аналіз витрат колійного, локомотивного і господарства електропостачання показує, що питома вага в загальній сумі експлуатаційних витрат по колійному господарству складає від 15,4 % (Придніпровська й Південна залізниці) до 21,2 % (Львівська залізниця), по локомотивному – від 30,9 (Донецька залізниця) до 43,1 % (Південна залізниця), по господарству електропостачання цей показник змінюється від 1,7 % (Південна залізниця) до 3,0 % (Південно-Західна).

Розрахунки показали, що із загального обсягу паливно-енергетичних ресурсів найбільші витрати припадають безпосередньо на тягу поїздів. Встановлено, що чіткої залежності між витратами електроенергії і витратами на перевезення немає. Більш наглядно цей факт можна ілюструвати зміною коефіцієнта, що визначений як співвідношення витрат на перевезення до витрачених енергоресурсів на тягу поїздів (у фізичних одиницях – т.у.п.) (рис. 3).

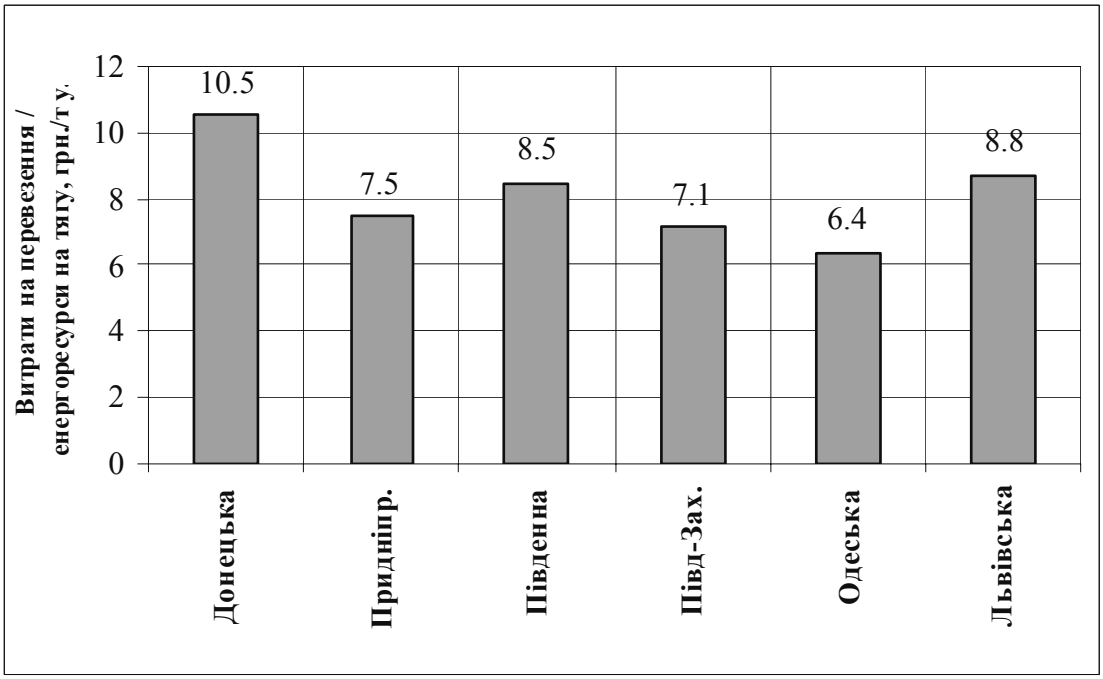


Рис. 3. Зміна співвідношення витрат на перевезення до витрачених енергоресурсів на тягу поїздів

Мета роботи – дослідити, як змінюється енергоємність вантажного поїзда, що рухається на різних ділянках залізниці, та які фактори впливають на величину споживаної електроенергії.

Системний підхід до вирішення задачі енергозбереження

Постановка і вирішення задачі енергозбереження потребує системного підходу. Для нормального функціонування системи (СМЗ) необхідно мати мережу колій із роздільними пунктами (1), відповідний рухомий склад (2) та обладнання для забезпечення управління перевезеннями (3). Щоб СМЗ безупинно функціонувала, необхідні системи життєзабезпечення (4): тягове електропостачання, обслуговування, що забезпечують пасажирське, колійне, локомотивне, вагонне, енергетичне господарства (рис. 4).

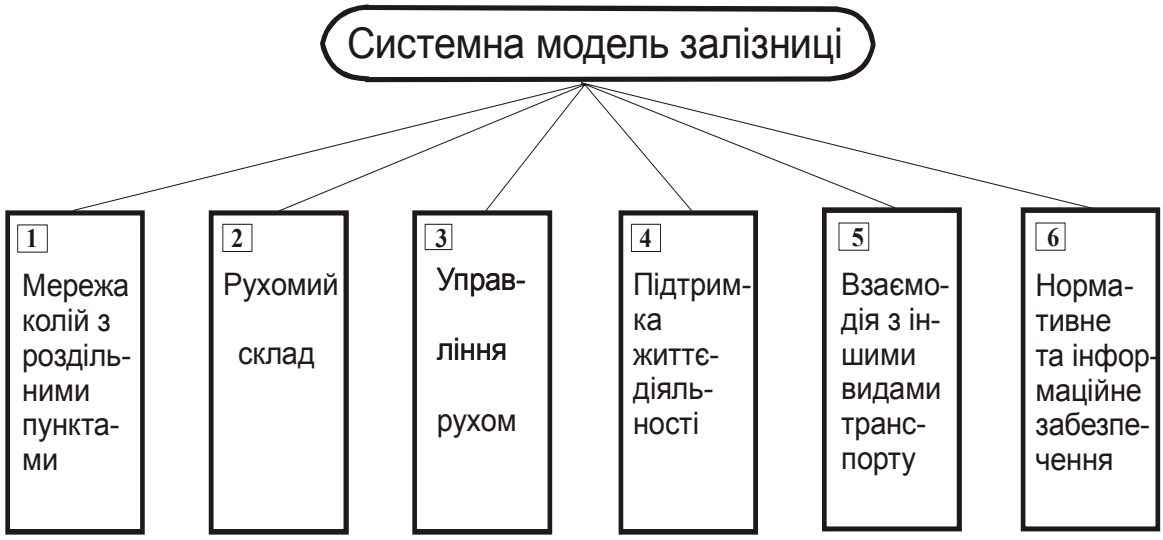


Рис.4. Забезпечення нормального функціонування системи

Інформаційне забезпечення (6) являє собою сукупність відомостей про саму СМЗ, містить інформацію про транспортні потоки, технічні засоби транспорту, нормативну базу й інші фактори. А якість СМЗ визначається через технічну ефективність: безпеку руху, надійність перевезень, час доставки вантажів і пасажирів тощо.

Розробка технологій енергозбереження повинна базуватись на діагностиці, моніторингу і прогнозі. З цією метою було запропоновано підсистему управління енергозбереженням (рис. 5).

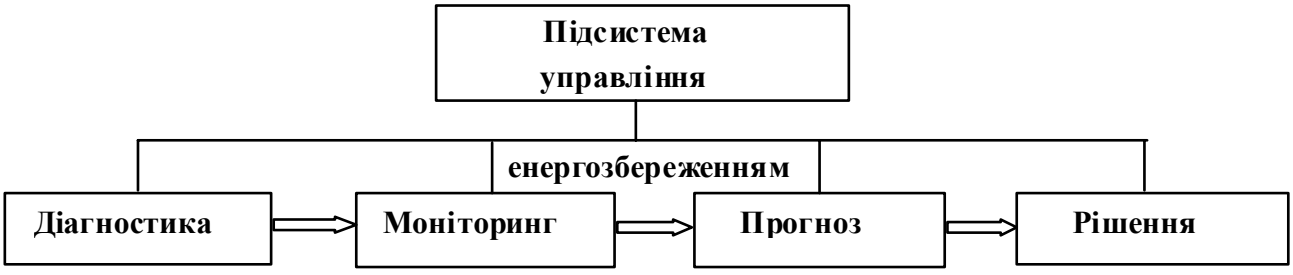


Рис. 5. Конфігурація підсистеми управління енергозбереженням

Підсистема управління енергозбереженням включає проведення комплексу заходів та інформаційного забезпечення, що входять до діагностики, моніторингу, прогнозу і прийняття рішення.

Діагностика – це система заходів, після проведення яких визначається фактичний стан параметрів плану, поздовжнього профілю, колійної інфраструктури, наявність постійних і тимчасових обмежень швидкості руху вантажних і пасажирських поїздів тощо.

Моніторинг – це контроль за використанням електроенергії і управління щодо забезпечення її економії. Моніторингу властиві не тільки спостереження, але й аналіз інформації, що отримана в ході діагностики з послідуючим прогнозуванням.

Інформаційне забезпечення включає характеристики залізничної колії, динаміку накопичення деформацій і змін параметрів плану та поздовжнього профілю, співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів, осьового навантаження.

Прогнозування передбачає можливості зміни підсистеми на основі моніторингу даної ділянки залізниці (положення кривих, поздовжнього профілю, усунення обмежень швидкості, зміна співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів, осьового навантаження, тощо).

Рішення – це розробка управлінських дій щодо зміни самої підсистеми.

Аналіз електроенергії показав, що одними із заходів скорочення витрат повинні бути зменшення затримок і кількості неграфікових зупинок поїздів. Від загальної кількості затримок у 2008 році найбільша кількість приходиться на колійне (35,3 %) господарство (рис. 6).

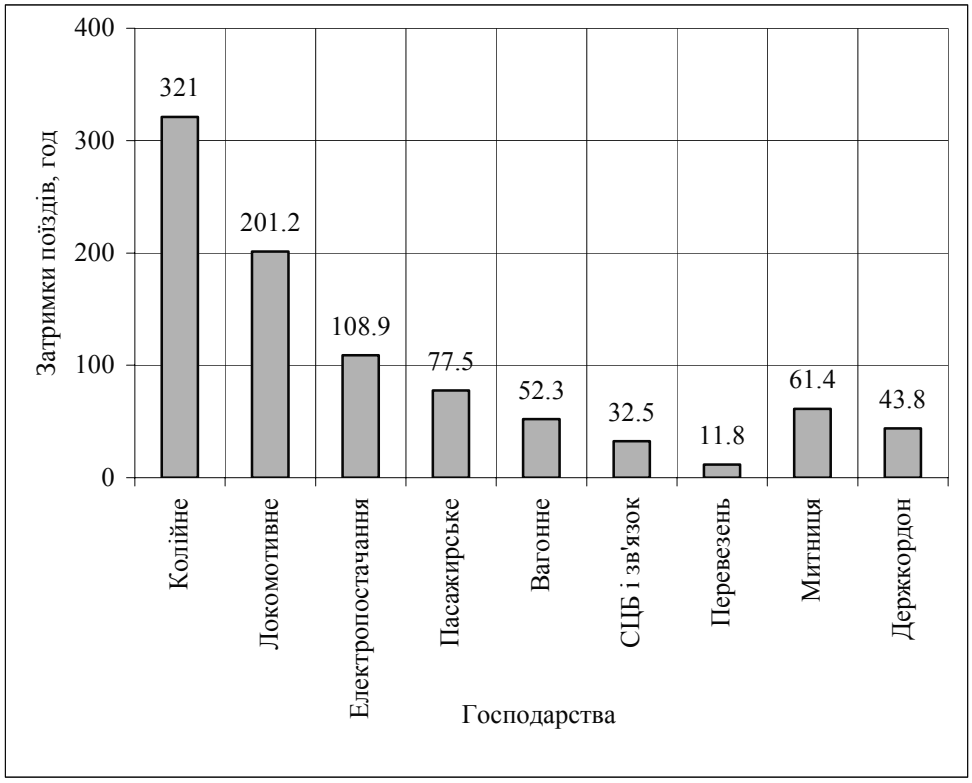


Рис. 6. Затримки поїздів по господарствах Укрзалізниці

Моніторинг за використанням електроенергії на тягу поїздів колійним господарством представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Моніторинг по колійному господарству

Заходи	Результат
1. Зменшення кількості тривалих і тимчасових обмежень швидкості руху поїздів	Покращується використання рухомого складу й існуючої інфраструктури
2. Перехід від великої кількості малих за тривалістю «вікон» до невеликої кількості довготривалих «вікон»	
3. Зменшення опору від кочення коліс по рейкам, що залежить від технічного стану верхньої будови колії	Знижується опір руху рухомого складу до 15 %, що призводить до зменшення зносу колії й рухомого складу, зменшенню роботи сили тяги локомотива й роботи сил опору, підвищенню швидкості руху
4. Зменшення опору від ударів в стиках рейок внаслідок нерівностей колії в профілі й плані	

Досліження факторів, що впливають на витрати електроенергії

Дослідження виконано для мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ (рис. 7). Хід Львів–Здолбунів–Київ має довжину 565 км, Львів–Жмеринка–Київ – 625 км. Керівний ухил в обох напрямках близько 8 ‰. Розрахунки виконувались за допомогою програми MovRW для різних мас рухомого складу на різних за складністю ділянках поздовжнього профілю, що дає можливість визначити вплив основних факторів на величину спожитої електроенергії.

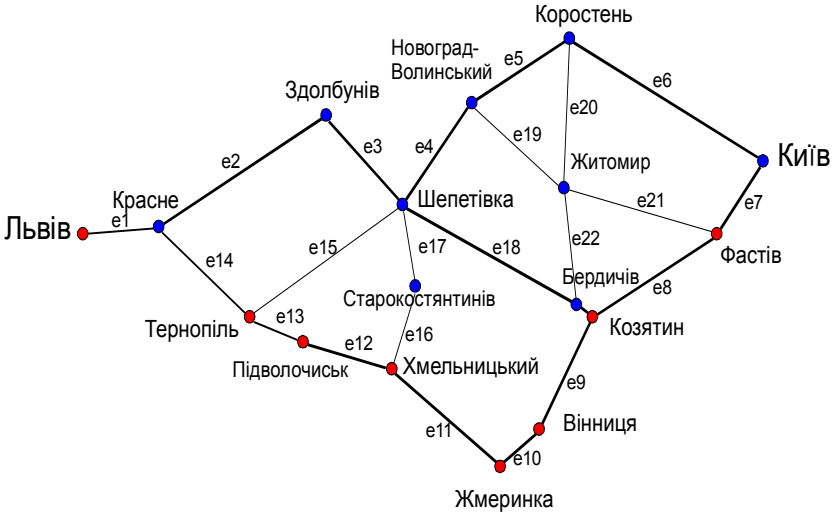


Рис. 7. Маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом

Для визначення факторів, які впливають на енергетичні витрати, розглянемо рівняння руху поїзда

$$F_k = m\,a + W_{\text{o}} + W_i + W_r\,. \qquad (1)$$

У виразі (1) F_k – сила тяги локомотива; m – маса поїзда; a – прискорення поїзда; W_{o} – сила основного опору руху; W_i, W_r – сили додаткового опору руху відповідно від ухилів і кривизни колії.

Значення основного і додаткових опорів руху, визначаються для кожного рухомого складу емпірично за даними [3, 4].

При відомій силі тязі, що витрачається на тягу поїздів, можна визначити механічну роботу локомотива на ділянці довжиною L

$$R_{\text{M}} = \int_l F_k\,ds\,, \qquad (2)$$

де l – частина ділянки L, на якій сила тяги локомотива $F_k > 0$.

До ділянок l відносяться ділянки розгону, а також ділянки, на яких поїзд рухається з постійною швидкістю на підйомах, площадках і спусках, якщо сила додаткового опору руху від ухилу W_i і кривизни колії W_r не перевищує величини основного опору руху, тобто $(W_i + W_r) < W_{\text{o}}$. Основний опір руху має місце при русі поїзда по прямій і горизонтальній колії і, в свою чергу, залежить від тертя кочення і ковзання коліс по рейках, втрат живої сили від ударів і коливань, тобто в кінцевому підсумку – від стану рухомого складу і колії.

Визначивши механічну роботу локомотива R_{M} і врахувавши коефіцієнт корисної дії електровоза η, визначаються витрати електроенергії на тягу поїзда [6]

$$E = \frac{R_{\text{M}}}{\eta}\,, \text{ або}$$

$$E = \left(\int_{l_1} W_{\text{o}}\,ds + \int_{l_2} W_i\,ds + \int_{l_3} W_r\,ds + \int_{l_4} ma\,ds \right) \frac{1}{\eta}. \qquad (3)$$

Аналізуючи різні технології енергозбереження [5 – 7], приходимо до висновку, що одним із основних шляхів скорочення витрат на тягу поїздів є зменшення складових частин, що входять до формули (1).

Для порівняння енергоємності вантажного поїзда, що рухається на ділянках залізниці з різним значенням середнього ухилу, розрахунки виконані для вантажного поїзда 4000 т. Результати розрахунків для напрямку Львів–Здолбунів–Київ наведено на рис. 8 і 9 (в прямому й зворотному напрямках); для напрямку Львів–Жмеринка–Київ – відповідно на рис. 10 і 11.

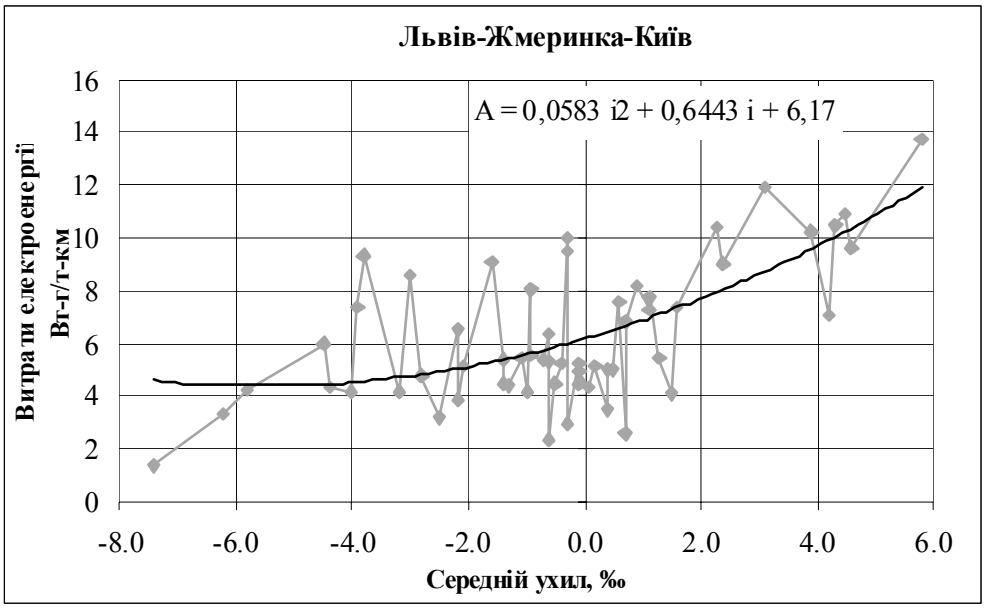


Рис. 8. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Львів–Жмеринка–Київ)

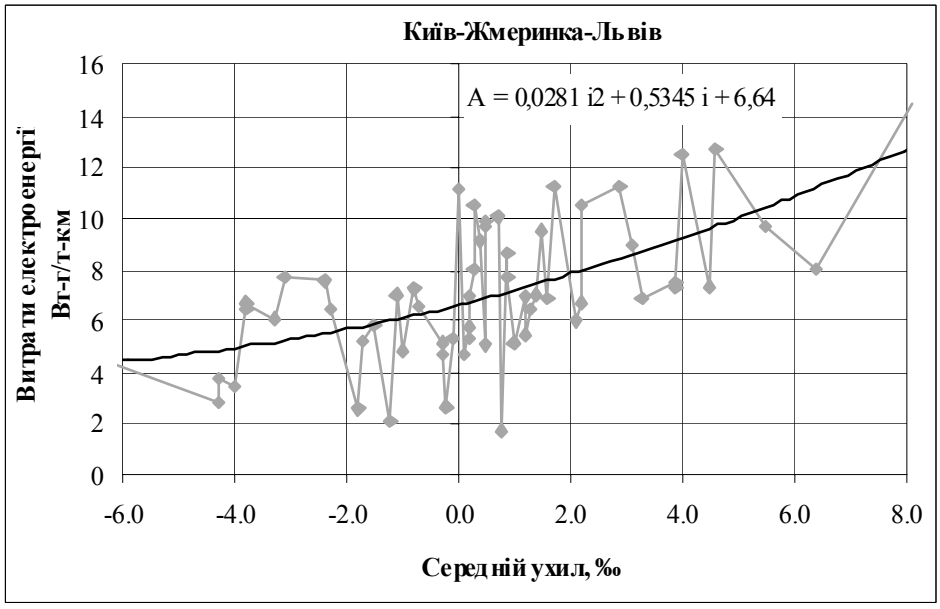


Рис. 9. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Київ–Жмеринка–Львів)

Встановлено, що витрати електроенергії (A) в залежності від середнього ухилу (i) можна описати поліномом другої степені. За знайденими на кожному напрямку аналітичними залежностями визначено витрати електроенергії для різних середніх значень ухилів (табл. 2) і встановлено, що північний хід Львів–Здолбунів–Київ за параметрами плану й профілю дещо складніший і потребує більших витрат електричної енергії, що повинно бути враховане при розмежуванні вантажного й пасажирського руху і спеціалізації напрямків.

Безумовно, крім параметрів профілю й плану на витрати електроенергії впливає маса і кількість поїздів. Для прикладу, на рис. 12 показана залежність витрат електроенергії для парного й непарного напрямку на ділянці Коростень–Шепетівка.

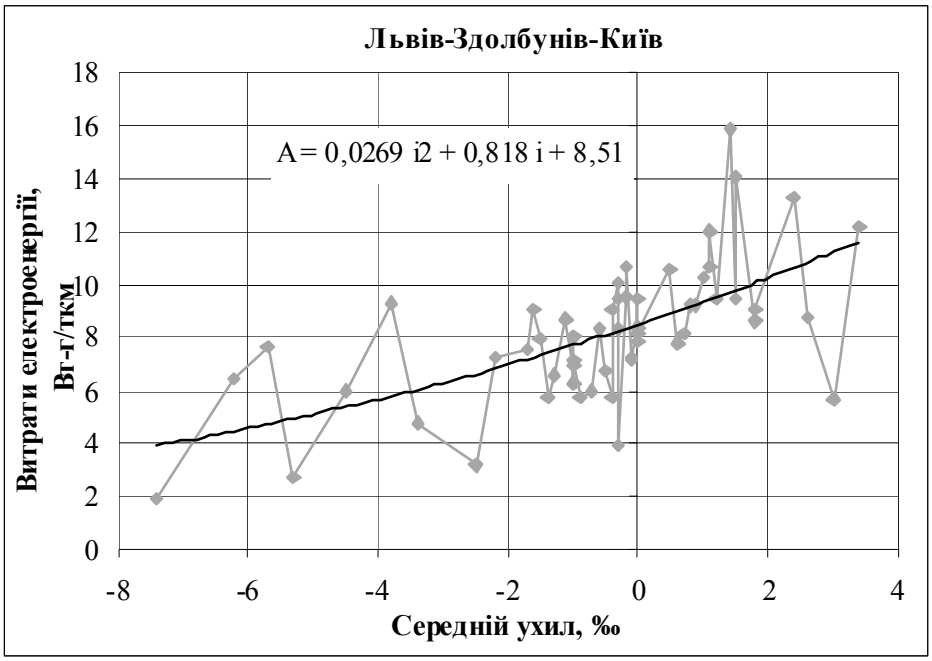


Рис. 10. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Львів–Здолбунів–Київ)

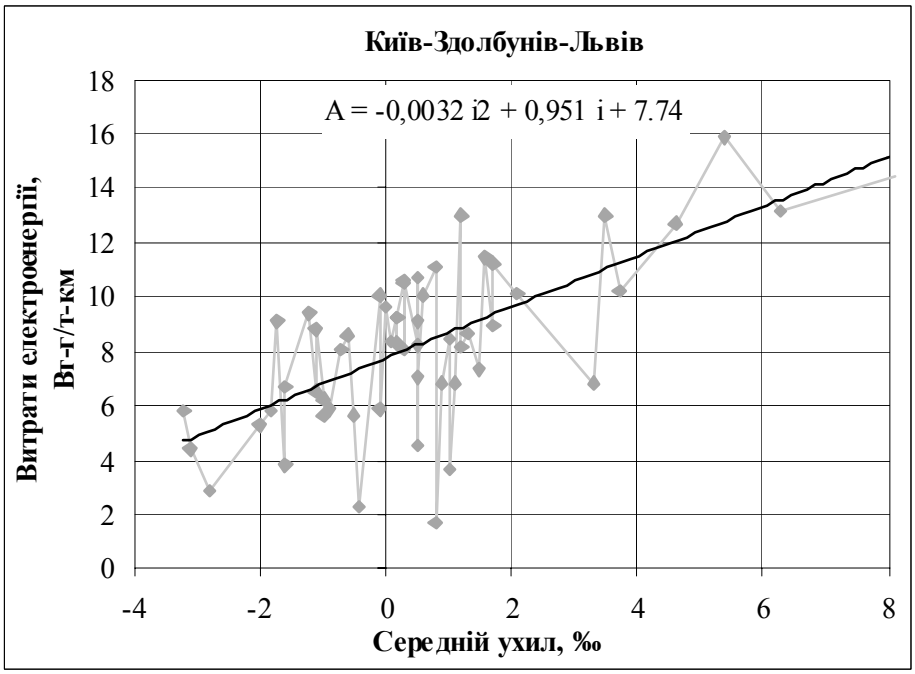


Рис. 11. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Київ–Жмеринка–Львів)

Як видно з рис. 13, залежність між витратами електроенергії і масою рухомого складу лінійна. Але при збільшенні маси зменшується кількість поїздів і загальні витрати енергії зменшуються (рис. 13).

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного дослідження встановлено, що на сучасному етапі постановка і вирішення задачі енергозбереження потребує системного підходу. Запропоновано підсистему

управління енергозбереженням, яка включає діагностику, моніторинг і прогноз. Представлено моніторинг по колійному господарству, що дозволяє впроваджувати конкретні заходи і передбачати очікуваний результат з енергозбереження.

2. Встановлено аналітичні залежності витрат електроенергії від середніх значень ухилів на ділянці, маси поїзда і вантажонапруженості, що дає можливість прогнозувати і оцінювати результати заходів з енергозбереження. Показано, що північний хід Львів–Здолбунів–Київ за параметрами плану й профілю дещо складніший і потребує більших витрат електричної енергії, що повинно бути враховане при вирішенні задачі розмежування вантажного й пасажирського руху і спеціалізації напрямків.

Таблиця 2

Питомі витрати електроенергії (Вт·г/т·км) від середнього ухилу

Середній ухил, ‰	Львів–Жмеринка–Київ		Львів–Здолбунів–Київ	
	парний	непарний	парний	непарний
–6	4,40	4,44	4,57	1.92
–4	4,53	4,95	5,67	3.88
–2	5,12	5,68	6,98	5.83
0	6,17	6,64	8,51	7.74
2	7,69	7,82	10,25	9.63
4	9,68	9,23	12,21	11.49
6	12,13	10,86	14,39	13.33
8	15,05	12,71	16,78	15.14

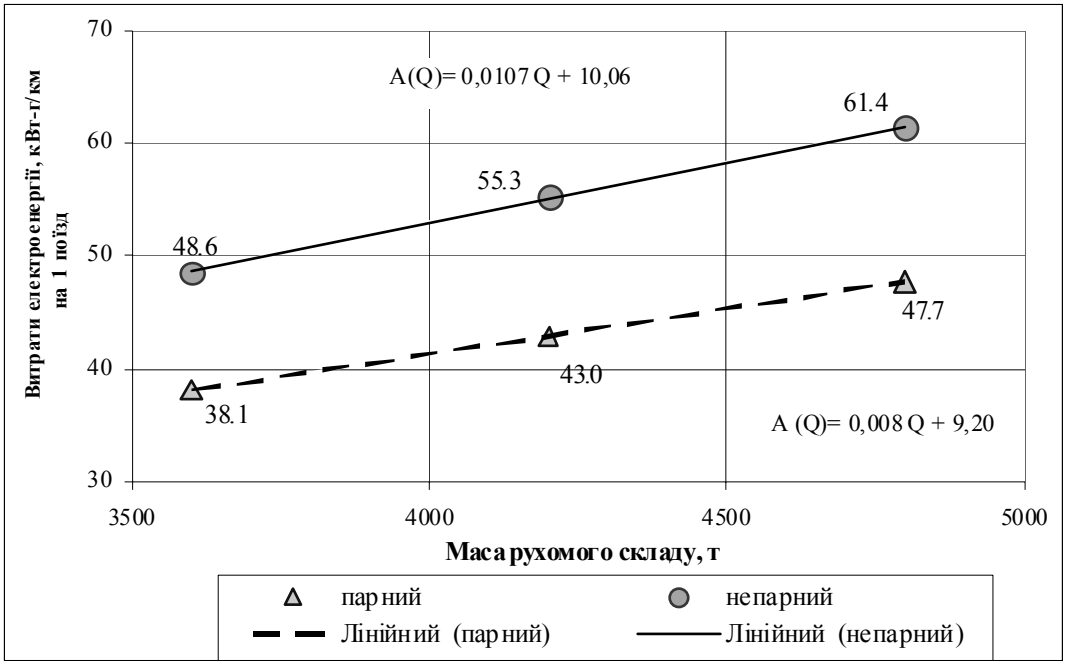


Рис. 12. Залежність витрат електроенергії на 1 поїзд на ділянці Коростень–Шепетівка

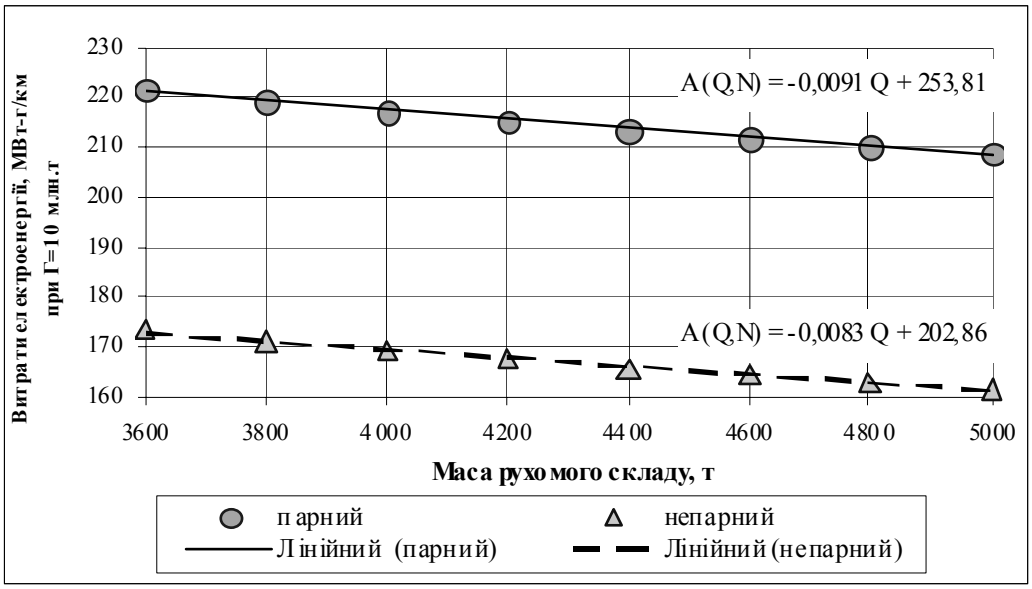


Рис. 13. Залежність витрат електроенергії від маси поїзда при вантажонапруженості 10 млн т·км/км

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Текст] : Схвалено розпорядженням Кабміну України від 16.12.09 № 1555-р. – К., 2009. – 5 с.
2. Інженерна записка про технічний стан залізничного транспорту України [Текст]. – К., 2008. – 137 с.
3. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
4. Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты [Текст] : справочник / под ред. П. Т. Гребенюка, А. Н. Долганова, А. И. Скворцовой. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
5. Впровадження технологій енергозбереження при перевезеннях залізничним транспортом на напрямку Знам'янка–Долинська–Миколаїв–Херсон–Джанкой [Текст] : техніко-економічне обґрунтування. – Д.: Дніпродіпротранс, 2008. – 179 с.
6. Метод постоянных перегонных скоростей для оценки энергозатрат на тягу поездов [Текст] / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. –2000. – № 4. – С. 16-19.
7. Вплив підвищення швидості руху поїздів на витрати енергоресурсів [Текст] / І. П. Корженевич [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 233-239.

Надійшла до редколегії 24.05.2010.
Прийнята до друку 08.06.2010.

УДК 625.151.2.001.4

К. В. МОЙСЕЄНКО, В. П. ГНАТЕНКО (ДІІТ)

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р65 МАРКИ 1/11 ПРОЕКТУ Дн 300

Наведено результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300.

Изложены результаты натурного испытания на прочность стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 проекта Дн 300.

The results of full-scale strength test of the switch type R65 mark 1/11 of the design Dn 300 are described.

Стрілочний перевід типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 запроектовано та виготовлено ВАТ «Дніпропетровський стрілочний завод» для укладання на головних коліях зі швидкостями руху поїздів по прямому напрямку до 160 км/год.

У конструкції нового переводу використано багато рішень, що були апробовані під час експлуатації серійного переводу-аналога цих же типу й марки проекту 65111Ж: повністю збігаються радіуси гостряка та перевідної кривої, початковий кут гостряка та стрілочний кут; теоретична довжина переводу, довжини гостряків та рамних рейок; відстані від початку рамних рейок до центру переводу та від центру переводу до математичного центра хрестовини; ширина колії по прямому та боковому напрямках. Однотипні також конструктивні рішення окремих частин дослідного переводу та аналога: ідентична стрілка, до бруса № 43 однакова епюра їх розкладення, в обох переводів пружне проміжне кріплення (клеми типів КП-2 і КП-3).

До особливостей, якими дослідний перевід відрізняється від переводу проекту 65111Ж, відносяться такі:

– замість жорсткої хрестовини запропонована нова конструкція з рухомим поворотним сердечником;

– вилучено упорки в межах рамних рейок та перевідної кривої (залишилася лише одна біля вістря гостряка);

– прикріплення стрілочних підкладок до брусів за допомогою закладних болтів замінено на шурупно-дюбельне;

– стрілочна й хрестовинні гарнітури доповнено зовнішніми замикачами, а самі гарнітури розміщені в металевих порожнистих брусах;

– запропонована нова конструкція залізобетонних брусів з постійним поперечним перерізом по всій довжині.

Зважаючи на суттєвість наведених вище конструктивних відмінностей нового переводу від серійного, потреба в проведенні натурного випробування дослідного переводу на міцність очевидна.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

Дослідний перевід був укладений у кінці листопада 2004 року на ст. Вільнянськ Придніпровської залізниці (перевід № 1). Випробування проведені у квітні–травні 2005 року, на їх початок по переводу було пропущено близько 30 млн т вантажу брутто.

Під час випробування стан дослідного переводу, прилеглих стрілочних переводів і колій, контактної мережі в цілому відповідав вимогам нормативної документації на дослідний стрілочний перевід та чинних «Тимчасової інструкції з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу» [1] й «Інструкції по устрою та утриманню колії залізниць України» [2] (спостерігалося відхилення положення рейкових ниток дослідного стрілочного переводу в межах з'єднувальної частини за рівнем до 10 мм по прямому напрямку та до 14 мм − по боковому). Знос металевих частин переводу не перевищував 1,0 мм.

Слід зазначити, що під час обстеження дослідного переводу було виявлено значну кількість брусів з волосовими тріщинами в бетоні. Довжина тріщин досягала 5 см, найчастіше вони спостерігалися на боковій поверхні бруса в зоні дюбеля. Наявність тріщин на момент проведення випробування, на нашу думку, на несучій здатності брусів не позначилися, хоча не виключено, що їх наявність може негативно відбитися на терміні служби брусів надалі.

© Мойсеєнко К. В., Гнатенко В. П., 2010

Також необхідно зауважити, що за 16 днів випробування через зовнішній замикач двічі не переводився сердечник хрестовини та один раз − гостряк.

Визначення показників напружено-деформованого стану переводу виконувалося під дією спеціального дослідного поїзда. Дослідний поїзд складався з двох електровозів (при швидкостях до 80 км/год включно – серій ВЛ8 і ВЛ11, за більших – серії ЧС7), пасажирського вагона на візках моделі КВЗ-ЦНИИ і чотирьох чотиривісних піввагонів на візках моделі 18-100, завантажених щебенем (один з навантаженням на вісь 10,6 т, другий – 18,1 т і два з навантаженням на вісь 23,9 т і 23,4 т). При швидкостях більше 80 км/год вантажні вагони з дослідного поїзда вилучалися, замість електровозів серії ВЛ використовувались електровози серії ЧС7. Швидкість 160 км/год реалізовано тільки одним електровозом серії ЧС7. Схеми дослідних поїздів наведено на рис. 1. Цифрами тут позначено номери осей, які використовувалися під час обробки даних.

Поїздки виконувалися човником (туди і назад) зі швидкостями 5, 40, 80, 100, 120, 140 і 160 км/год по прямому напрямку та 5, 15, 25, 40 і 50 – по боковому. З кожною швидкістю було зроблено від 5 до 23 заїздів (половина заїздів у протишерстному напрямку, половина − у пошерстному).

Крім стандартних показників напружено-деформованого стану стрілочного переводу, що завжди визначаються під час випробування (напруження в металевих частинах; горизонтальні та вертикальні сили, що діють на перевід; деформації та переміщення рейкових елементів та брусів), для оцінки впливу нової конструкції проміжного кріплення та металевих брусів на роботу дослідного переводу вимірювалися також їх горизонтальні та вертикальні переміщення й деформації.

Схеми установки приладів по прямому й боковому напрямках дослідного переводу наведено на рис. 2. У порівнянні зі схемами, які використовувалися під час випробування стрілочних переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4], особливістю цих схем є наявність приладів для визначення напружень у межах внутрішніх кромок підошов гостряка та рухомого сердечника.

Випробування та розшифровка одержаних даних виконані Колієвипробувальною ГНДЛ ДНУЗТ за допомогою вимірювально-інформаційної системи «ПОНИЛ ДИИТ-1», що пройшла державну метрологічну атестацію відповідно до чинного порядку. Характеристики приладів, методики їх установки та визначення вертикальних і горизонтальних сил не відрізнялися від наведених у [3].

Техніка статистичної обробки та аналізу даних для кожного екіпажа в цілому теж відповідала наведеній у [3], крім порядку групування даних, одержаних для електровоза серії ВЛ8 та завантажених піввагонів під час руху по боковому напрямку. Результати, отримані для ВЛ8, розглядалися не окремо для кожної осі, а групувалися таким чином (див. рис. 1): група 1 – вісь 29, 2 – 30, 3 – 31 та 33, 4 – 32 та 34, 5 – 35, 6 – 36, а дані, одержані для піввагонів з навантаженням на вісь 23,9 т і 23,4 т, об’єднувалися в одну вибірку (групування результатів, отриманих для ВЛ11, виконано як для вагонів).

Одержані результати аналізувалися окремо для стрілки, гостряка, з’єднувальної частини та рухомого сердечника. Аналогічно до [3, 4] об’єктом аналізу були тільки максимальні ймовірні значення.

Допустимі та рекомендовані величини сил, деформацій та напружень в елементах стрілочного переводу становлять (відповідно до рекомендацій, розроблених експертами V комісії ОСЗ):

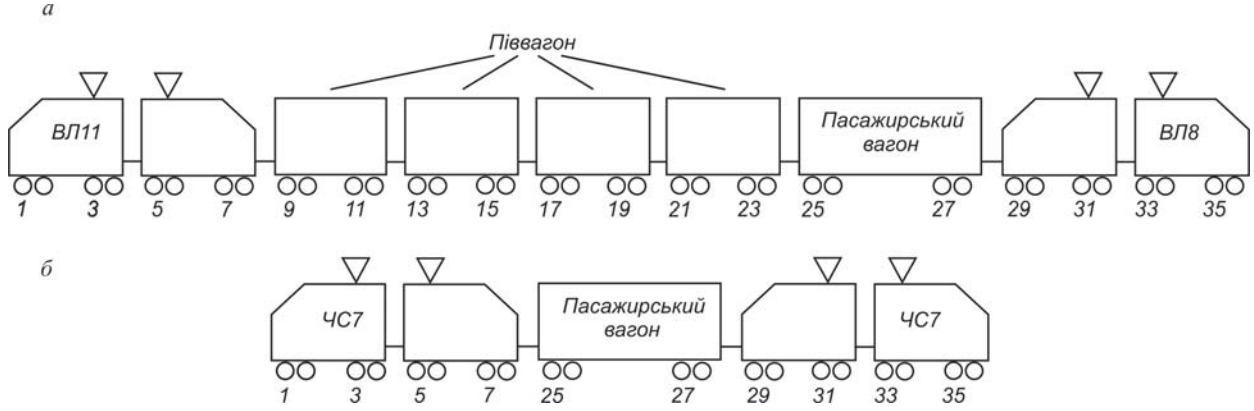
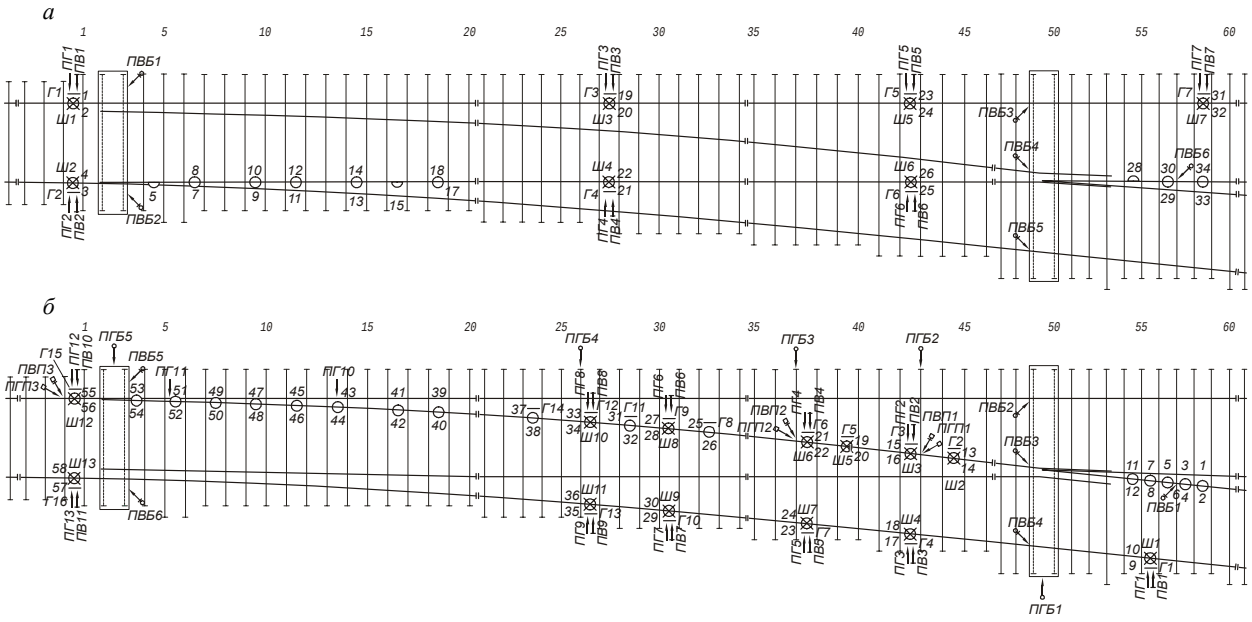


Рис. 1. Схеми дослідних поїздів при швидкостях:
а – до 80 км/год включно; *б* – від 100 км/год до 140 км/год включно



Умовні позначення:

× – прилад для вимірювання вертикальних сил, що діють на рейкові елементи;

D, — – прилади для вимірювання напружень відповідно в кромці підошви та головки рейки;

, – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень рейки;

, – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень бруса;

, – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень підкладки на брусі

Рис. 2. Схема установки приладів: *а* – по прямому напрямку переводу; *б* – по боковому

1. Напруження в кромках рейкових елементів, МПа:

– гостряки та рухомий сердечник, виготовлені з гострякового профілю ….……275

– решта елементів……...250

2. Вертикальні сили взаємодії колеса та рейки в межах стрілки та з'єднувальної частини, кН……...200

3. Переміщення рейкових елементів, мм:

– вертикальні ……10

– горизонтальні (рекомендована)……....4

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЕРЕВОДУ ПІД ЧАС РУХУ ДОСЛІДНОГО ПОЇЗДА ПО ПРЯМОМУ НАПРЯМКУ

Одержані результати відповідно до типу екіпажа та швидкості його руху наведено в табл. 1 - 5. У цих таблицях відсутні дані про напружено-деформований стан основи дослідного стрілочного переводу, і зокрема металевих порожнистих брусів, − ці результати наведено в окремій частині даної статті.

Незважаючи на тип екіпажа, найбільше від швидкості залежать напруження в зовнішніх кромках рейкових елементів та горизонтальні сили: зі збільшенням швидкості від мінімального значення до максимального напруження в різних частинах переводу зросли в середньому на 36 % (максимальна різниця склала 70 %), а горизонтальні сили − на 260 % при максимальній величині 580 % (порожній піввагон). Водночас різниця між величинами вертикальних сил залежно від швидкості не перевищувала 32 %. Необхідно відмітити, що для електровоза серії ЧС7 різниця напружень у рухомому сердечнику склала 64 %; дуже ймовірно, що за наявності даних для 5 км/год або 40 км/год ця різниця була б ще більшою.

При швидкостях дослідного поїзда до 80 км/год найбільші значення майже завжди реєструвалися під колесами завантаженого до повної вантажопідйомності піввагона, а при швидкостях від 100 км/год до 160 км/год − під колесами ЧС7.

Напруження в рейкових елементах. Напруження в рейкових елементах визначалися в неробочій кромці головки та в обох кромках підошви.

Нормативна величина для напружень у неробочій кромці головки відсутня, тому як самостійна величина ці процеси не аналізувалися (вони застосовувались для розрахунку горизонтальної сили, що діє на рейки, за методикою д-ра техн. наук О. П. Єршкова).

Прилади для визначення напружень, установлені також і в межах внутрішньої кромки підошов гостряка та рухомого сердечника, дозволили оцінити відношення між напруженнями в зовнішній та внутрішній кромках по всій довжині переводу, а не тільки в передньому вильоті рамних рейок та рейках з'єднувальної частини, як звичайно.

Порівняння напружень у зовнішніх та внутрішніх кромках рамних рейок, гостряка, рейок з'єднувальної частини та рухомого сердечника для екіпажів, що входили в дослідний поїзд, дало такі ж результати, як і під час випробувань переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4] − практично в усіх випадках напруження в зовнішній кромці підошви були більші за напруження у внутрішній, але для гостряка ця різниця була найбільша як за середніми значеннями, так і за максимальними. Усереднені дані за типами екіпажів, швидкостями та напрямками руху дослідного поїзда (ПШ, ПРШ) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Відношення між напруженнями в зовнішніх та внутрішніх кромках рейкових елементів дослідного переводу (прямий напрямок), %

Частина переводу	Значення	
	середнє	максимальне
Рамні рейки	148	224
Гостряк	173	262
З'єднувальна частина	141	241
Рухомий сердечник	158	214

Розташування максимальних значень напружень по довжині окремої частини переводу більше залежить від швидкості екіпажа, ніж від його типу (звичайно, за наявності значної кількості приладів по довжині, як, наприклад, для гостряка або рухомого сердечника). Це твердження можна проілюструвати розташуванням максимумів напружень по довжині гостряка для електровоза ЧС7: швидкості 100 км/год та

Таблиця 2

Середні ($\bar{\sigma}$) та максимальні ймовірні ($\sigma^{й}_{max}$) величини напружень у рейкових елементах, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, МПа

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		40		80		100		120		140		160	
	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$
Рамні рейки														
ВЛ11	77,7	105,6	79,2	98,8	91,9	117,2	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	72,5	91,6	65,2	95,2	82,8	114,4	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	77,5	106,5	91,1	130,6	111,4	168,5	87,4	147,6
Піввагон 23,9 т/вісь	74,9	103,0	64,7	89,8	97,0	136,4	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	55,7	75,4	58,6	82,1	48,9	96,7	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	40,0	64,0	35,6	52,3	41,1	88,2	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	51,1	74,6	47,7	69,4	48,0	74,7	45,6	69,4	48,4	69,3	52,6	73,2	–	–
Гостряк														
ВЛ11	108,5	127,1	108,7	132,5	106,8	153,1	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	105,9	125,4	107,2	125,5	108,8	135,9	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	116,8	136,0	123,0	163,0	124,5	195,5	113,8	186,9
Піввагон 23,9 т/вісь	99,4	111,2	95,0	122,9	113,2	159,2	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	92,1	101,7	87,5	106,4	83,2	133,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	62,7	78,9	62,1	73,8	73,3	111,8	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	75,5	92,0	76,2	94,4	80,3	101,6	85,2	119,0	83,2	118,0	92,7	119,0	–	–
З'єднувальна частина														
ВЛ11	67,7	85,0	71,2	104,4	72,9	118,1	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	56,2	80,1	71,7	108,9	67,0	115,7	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	60,7	95,9	57,5	106,5	76,4	148,6	103,3	133,2
Піввагон 23,9 т/вісь	56,7	76,5	67,5	105,9	93,2	127,8	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	48,9	65,3	56,1	83,4	54,6	97,5	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	29,8	45,2	36,2	58,6	40,3	77,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	47,9	60,2	53,4	73,0	48,2	74,1	46,7	66,7	42,3	69,7	43,6	75,3	–	–
Рухомий сердечник														
ВЛ11	80,7	96,7	84,4	102,3	97,6	135,0	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	80,2	94,6	79,6	103,8	91,6	127,0	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	76,4	92,5	79,3	118,7	88,0	131,3	91,6	151,8
Піввагон 23,9 т/вісь	58,4	85,1	68,5	102,0	68,7	116,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	57,6	72,7	54,7	74,6	53,9	79,4	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	32,4	46,5	30,0	54,6	34,2	56,8	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	45,3	61,2	44,2	59,9	56,3	71,5	55,6	66,1	59,7	70,4	66,8	83,8	–	–

120 км/год − прилад «7», 140 км/год − «13», 160 км/год − прилад «15».

Максимальні значення напружень одержано під впливом електровоза серії ЧС7 за швидкості 140…160 км/год. У межах рамних рейок вони склали 168,5 МПа, гостряка − 195,5 МПа (прилад «13»), з'єднувальної частини − 148,6 МПа, рухомого сердечника − 151,8 МПа (прилад «33»). Усі ці значення не перевищують відповідних допустимих величин.

Вертикальні сили та переміщення рейок. Величини вертикальних сил більшою мірою залежать від розташування приладу, ніж від швидкості. Максимальне значення сил у межах рамних рейок складає 171,0 кН, з'єднувальної частини − 185,9 кН. У першому випадку це електровоз серії ЧС7, у другому − повністю завантажений вагон.

Осідання рамних рейок у межах переднього вильоту перевищує осідання рейок у решті перерізів і досягає 4,8 мм. Не виключено, що причиною цього є нестійке положення металевого порожнистого бруса в плані та профілі.

Порівнюючи з допустимими величинами, можна твердити, що вертикальні сили та переміщення їх не перевищують.

Таблиця 3

Середні ($\overline{P}$) та максимальні ймовірні ($P^{й}_{max}$) величини вертикальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, кН

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		40		80		100		120		140		160	
	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$	$\overline{P}$	$P^{й}_{max}$
Рамні рейки														
ВЛ11	124,2	159,6	106,4	156,8	116,4	156,5	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	120,1	145,0	103,3	133,7	108,7	154,8	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	114,3	164,2	117,3	171,0	130,5	164,4	104,3	160,7
Піввагон 23,9 т/вісь	127,2	167,9	92,1	157,5	128,9	168,2	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	93,2	124,6	75,9	124,7	86,3	117,1	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	70,6	98,3	45,2	87,3	59,2	98,9	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	70,3	88,2	68,6	92,4	60,2	109,9	71,2	113,2	76,7	93,0	78,7	95,9	–	–
З'єднувальна частина														
ВЛ11	116,0	144,9	115,9	154,9	128,8	178,1	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	116,6	150,6	123,0	149,4	113,3	164,0	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	108,3	152,8	106,1	150,5	110,7	144,5	122,7	156,1
Піввагон 23,9 т/вісь	115,2	141,0	121,8	181,9	131,2	185,9	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	92,2	121,6	98,3	122,3	98,9	143,9	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	59,7	78,2	48,7	81,4	62,7	88,8	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	78,7	109,2	72,3	97,9	69,6	98,4	88,1	113,1	74,7	109,1	64,6	86,6	–	–

Таблиця 4

Середні ($\overline{H}$) та максимальні ймовірні ($H^{й}_{max}$) величини горизонтальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, кН

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		40		80		100		120		140		160	
	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$	$\overline{H}$	$H^{й}_{max}$
Рамні рейки														
ВЛ11	3,8	17,8	-6,9	-19,6	5,4	26,7	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	1,4	11,8	2,1	14,4	5,1	27,3	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	3,1	27,2	5,7	32,6	20,7	77,4	28,3	72,5
Піввагон 23,9 т/вісь	3,4	13,4	-3,3	-16,1	20,3	45,7	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	-3,2	-12,2	-8,4	-14,8	-1,3	-26,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	-3,1	-7,9	-3,8	-9,8	10,6	45,2	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	-1,2	-18,9	-3,1	-18,4	-0,9	-19,4	3,3	24,1	0,6	21,2	3,1	24,0	–	–
З'єднувальна частина														
ВЛ11	6,6	25,4	-10,5	-29,2	8,4	40,6	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	2,0	21,0	4,2	34,4	8,7	46,1	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	8,3	33,7	9,2	50,8	17,6	86,1	26,1	81,2
Піввагон 23,9 т/вісь	2,6	24,5	9,7	44,2	28,5	65,1	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	2,9	13,2	9,3	20,9	12,3	51,3	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	-4,8	-12,8	-4,8	-14,5	19,6	39,7	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	8,5	30,8	10,1	34,8	11,2	39,3	13,3	41,2	12,2	38,4	12,6	39,6	–	–

Примітка: мінус означає, що сила спрямована всередину колії.

Таблиця 5

Середні ($\bar{y}$) та максимальні ймовірні ($y^{й}_{max}$) величини горизонтальних переміщень рейкових елементів, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, мм

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		40		80		100		120		140		160	
	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$
Рамні рейки														
ВЛ11	0,19	0,95	0,24	1,20	0,28	1,34	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	0,19	0,84	0,22	1,06	0,47	1,45	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	0,30	1,24	0,74	2,12	1,31	3,37	1,08	2,25
Піввагон 23,9 т/вісь	0,21	0,66	0,12	0,97	0,29	1,45	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	0,17	0,68	0,45	1,10	0,35	1,70	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	0,13	0,39	0,20	0,69	0,72	1,93	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	0,22	1,24	0,45	1,20	0,37	1,00	0,46	1,56	0,37	1,39	0,95	1,88	–	–
З'єднувальна частина														
ВЛ11	-0,56	-1,36	-0,69	-1,51	-0,87	-1,68	–	–	–	–	–	–	–	–
ВЛ8	-0,51	-1,17	-0,38	-1,30	0,45	1,52	–	–	–	–	–	–	–	–
ЧС7	–	–	–	–	–	–	-0,60	-1,37	0,47	2,40	0,38	3,22	0,84	3,36
Піввагон 23,9 т/вісь	-0,62	-1,26	-0,73	-1,40	0,61	2,52	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 18,1 т/вісь	0,31	1,26	-0,37	-1,26	0,28	1,73	–	–	–	–	–	–	–	–
Піввагон 10,6 т/вісь	-0,51	-0,90	-0,40	-0,79	0,70	1,89	–	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирський вагон	0,42	1,32	0,65	1,86	0,53	1,84	0,61	1,80	0,48	1,49	0,59	1,68	–	–

Примітка: мінус означає, що переміщення спрямоване всередину колії.

Горизонтальні сили та переміщення рейок. Найбільші значення горизонтальних сил зареєстровані під колесами електровоза серії ЧС7 за швидкості руху 140 км/год. У межах рамних рейок величина сили досягає 77,4 кН, у з'єднувальній частині − 86,1 кН (хоча за швидкості 100 км/год вони складають 27,2 кН та 33,7 кН відповідно). Ці дані свідчать про суттєве погіршення горизонтальної динаміки електровоза серії ЧС7 під час руху зі швидкостями 140…160 км/год. Якісні характеристики залежностей напружень, горизонтальних сил та переміщень від швидкості подібні − це ще раз підтверджує, що основною причиною появи великих напружень у підошві рейки є горизонтальна сила.

Найбільші значення горизонтальних переміщень рейок теж реєструються під колесами ЧС7, вони однакові в передньому вильоті рамних рейок та в з'єднувальній частині й досягають 3,4 мм, що не перевищує рекомендованих значень.

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЕРЕВОДУ ПІД ЧАС РУХУ ДОСЛІДНОГО ПОЇЗДА ПО БОКОВОМУ НАПРЯМКУ

Результати досліджень напружень, сил та деформацій, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку дослідного переводу, наведено в табл. 6 - 10. Найчастіше найбільші значення показників спостерігалися під час руху електровозів серій ВЛ8 та ВЛ11, один раз − піввагона (23,9 т/вісь).

Напруження в рейкових елементах. Подібно до аналізу напружень, одержаних під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, у табл. 6 наведено усереднені дані про відношення між напруженнями в зовнішніх та внутрішніх кромках рейкових елементів дослідного переводу, отриманими під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку. Найбільша різниця спостерігалася для гостряка, для решти елементів ця різниця менша, але теж суттєва. Необхідно зазначити, що в перерізах гостряка, де фіксувалися найбільші по його довжині напруження, у внутрішній кромці спостерігалися від'ємні значення, що досягали -83 МПа.

Таблиця 6

Відношення між напруженнями в зовнішніх та внутрішніх кромках рейкових елементів дослідного переводу (боковий напрямок), %

Частина переводу	Значення	
	середнє	максимальне
Рамні рейки	160	268
Гостряк	237	582
З'єднувальна частина	182	326
Рухомий сердечник	183	338

Аналіз результатів, наведених у табл. 7, дозволяє зробити висновок, що за всіх швидкостей дослідного поїзда напруження в рамних рейках, рейках з'єднувальної частини та рухомому сердечнику суттєво менші за допустимі (176,1 МПа, 178,3 МПа та 170,6 МПа відповідно). У діапазоні швидкостей 5…25 км/год напруження в цих частинах переводу практично не змінюються, невелике їх збільшення

Таблиця 7

Середні ($\bar{\sigma}$) та максимальні ймовірні ($\sigma^{й}_{max}$) величини напружень у рейкових елементах, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, МПа

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma^{й}_{max}$
Рамні рейки										
ВЛ11	124,7	155,8	118,5	148,4	119,9	150,1	132,6	169,2	132,7	157,0
ВЛ8	146,3	173,6	141,4	173,0	140,0	169,2	144,4	176,1	138,7	167,1
Піввагон 23,9 т/вісь	123,3	148,4	113,7	136,7	118,1	140,5	122,7	148,9	117,5	134,5
Піввагон 18,1 т/вісь	92,2	122,7	88,7	110,5	96,6	116,3	110,5	139,8	97,0	119,0
Піввагон 10,6 т/вісь	68,0	81,0	57,3	77,7	62,0	80,1	69,6	85,4	60,4	76,7
Пасажирський вагон	76,1	90,2	74,1	89,9	75,8	89,5	83,3	92,4	79,6	92,6
Остряк										
ВЛ11	170,2	207,0	172,1	206,1	179,9	214,1	197,8	240,0	211,4	259,0
ВЛ8	179,3	217,2	182,1	213,5	184,1	216,2	195,8	215,1	207,0	232,6
Піввагон 23,9 т/вісь	163,5	194,2	158,9	186,3	155,7	190,6	182,6	204,8	181,6	216,8
Піввагон 18,1 т/вісь	131,6	162,3	134,0	153,1	138,1	164,4	153,9	177,7	153,0	196,8
Піввагон 10,6 т/вісь	92,7	112,0	82,3	106,8	88,3	104,1	94,6	118,7	103,1	140,8
Пасажирський вагон	104,3	129,4	107,4	135,2	110,1	136,9	114,0	141,3	116,5	145,7
З'єднувальна частина										
ВЛ11	117,1	144,9	119,6	154,6	122,7	159,7	135,2	162,3	143,4	158,4
ВЛ8	132,9	165,5	131,9	163,6	132,1	160,1	135,4	175,8	135,8	178,3
Піввагон 23,9 т/вісь	101,6	131,5	105,1	138,1	104,1	131,4	111,4	138,3	111,4	140,7
Піввагон 18,1 т/вісь	77,9	112,3	88,5	108,0	95,2	116,2	105,4	128,6	106,7	135,6
Піввагон 10,6 т/вісь	59,4	74,7	61,2	75,5	63,8	79,0	65,2	89,0	70,4	87,3
Пасажирський вагон	66,2	99,2	74,7	97,8	71,8	95,0	82,1	103,6	81,9	110,4
Рухомий сердечник										
ВЛ11	98,3	124,1	99,1	127,9	106,9	132,0	105,1	137,1	106,1	126,3
ВЛ8	134,4	151,6	126,2	160,1	142,4	170,6	143,4	167,5	137,0	148,9
Піввагон 23,9 т/вісь	77,1	105,2	80,4	113,4	87,8	129,0	88,5	125,0	93,4	136,4
Піввагон 18,1 т/вісь	64,8	83,7	60,1	80,1	62,9	88,9	65,7	86,6	73,0	107,1
Піввагон 10,6 т/вісь	49,1	65,0	47,2	67,3	56,2	85,4	47,7	66,6	41,4	74,3
Пасажирський вагон	61,4	89,3	55,5	77,0	61,7	84,9	59,7	93,5	64,2	96,9

реєструється лише за швидкостей 40…50 км/год. У всіх випадках це збільшення не перевищує 30 %. Слід зазначити, що напруження у внутрішніх рейках не набагато менші за напруження в зовнішніх, які виконують основну функцію – спрямовують колісні пари під час руху по боковому напрямку переводу.

Найбільше напруження в зовнішній кромці остряка зареєстровано під колесами електровоза серії ВЛ11 (259,0 МПа). Ця величина суттєво перевищує найбільші напруження, одержані раніше під час випробувань стрілочних переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4] (214,3 МПа та 181,5 МПа), але допустимій величині відповідає. На рис. 3 наведено розподіли напружень по довжині остряка залежно від напрямку та швидкості руху цього локомотива: суцільною лінією показані напруження, зареєстровані у випадку ПРШ напрямку руху дослідного поїзда, пунктирною − ПШ. Максимум напружень спостерігається в перерізі остряка, що розташований в кінці бокового стругання (прилад «47»), під час руху в протишерстному напрямку. Пояснити це можна ударним характером взаємодії екіпажу та остряка, ефект якої збільшується зі збільшенням швидкості, а за швидкості 50 км/год досягає максимуму.

До цікавих висновків приводить аналіз напружень у перерізі остряка, що розташований між брусами 11 і 12 та поряд із цим місцем. Величини напружень тут суттєво відрізняються між собою, причому незалежно від напрямку руху напруження, що зареєстровані приладом «45», є суттєво меншими.

Відомо, що на величину напружень у підошві рейки або остряка впливає:

– по-перше, вертикальне навантаження, яке викликає вертикальний прогин рейки і, як результат, напруження розтягнення;

– по-друге, горизонтальна сила, яка є причиною вигину рейки в горизонтальній площині. Горизонтальний вигин призводить до стиснення волокон внутрішньої кромки та розтягнення волокон зовнішньої кромки. Таким чином, напруження розтягнення в підошві остряка, що є результатом дії вертикального навантаження, за рахунок горизонтальної сили в зовнішній кромці ще збільшуються, а у внутрішній – зменшуються.

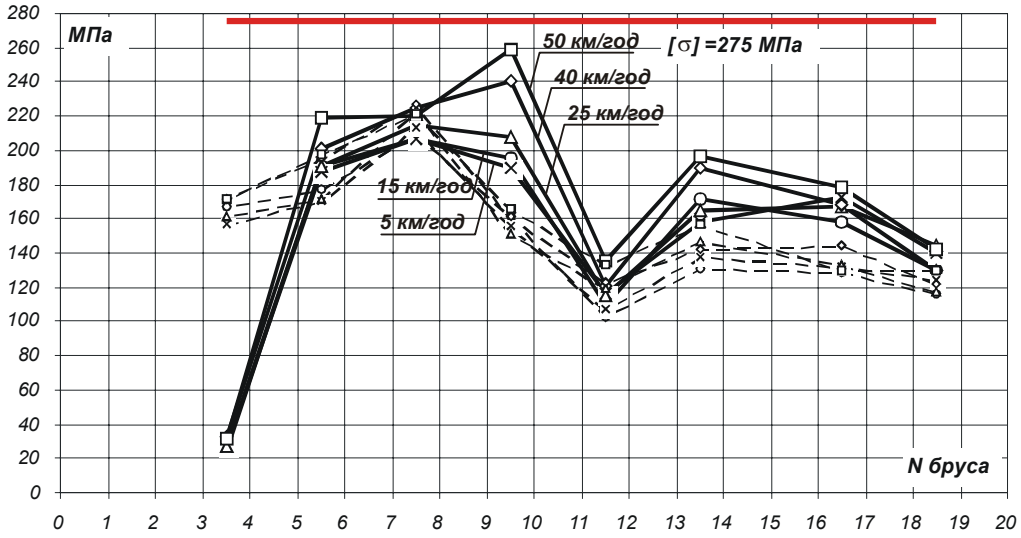


Рис.3. Напруження в зовнішній кромці криволінійного гостряка, одержані під колесами електровоза серії ВЛ11

Конструкцією рамних рейок дослідного переводу передбачено наявність 8 упорних накладок, призначення яких − передавати горизонтальне навантаження від гостряка на рамну рейку. Між брусами 11 і 12 упорна накладка розміщена якраз посередині ящика, навпроти місця, де розміщений прилад «45», що призводить до зменшення величини горизонтальної деформації гостряка і, у свою чергу, до зменшення напружень.

Вертикальні сили та переміщення рейок. Порівняння вертикальних сил, що діють на внутрішню та зовнішню рейки, вказує на наявність впливу непогашеного відцентрового прискорення на величину перерозподілу вертикальних сил між рейками. Тому цілком природно, що сили по зовнішній рейці (напрямній) більші в порівнянні з внутрішньою. І зі збільшенням швидкості руху дослідного поїзда ця різниця збільшується.

Для вагонів це характерно при всіх швидкостях руху в усіх досліджених зонах стрілочного переводу (за винятком переднього вильоту в разі протишерстного напрямку руху – через відсутність значних величин непогашених відцентрових прискорень). Для локомотивів ця залежність надійно проявляється лише за швидкостей 40 км/год і більше. При менших швидкостях величини сил, що реєструються на внутрішній рейці, іноді перевищують сили по зовнішній рейці.

Максимальні величини вертикальних сил, що діють на рамні рейки, становлять 196,6 кН, на рейки з'єднувальної частини − 193,5 кН, що не перевищує допустимих значень.

Найбільше вертикальне переміщення рейки зафіксовано під колесами електровоза серії ВЛ8 – 5,1 мм (передній виліт рамної рейки). Це дещо більше, ніж у випадку прямого напрямку, але теж не перевищує допустимої величини й дозволяє стверджувати, що дослідний перевід під час випробування задовільно утримувався у вертикальному профілі.

Горизонтальні сили. Одержані дані вказують на те, що під час прямування рухомого складу по боковій колії переводу на рейки діють значні горизонтальні сили, направлені назовні, причому як на зовнішню рейку, так і на внутрішню.

У більшості випадків для всіх екіпажів (крім електровоза серії ВЛ8) найбільші величини сил у з'єднувальній частині спостерігаються по внутрішній рейці (переріз, розташований між брусами № 42 і 43). Тільки за швидкостей 40…50 км/год найбільші горизонтальні сили реєструються на зовнішній рейці (ВЛ11, півваго н з навантаженням 18,1 т/вісь). Найімовірніше, причина цього полягає в «підвищенні» зовнішньої рейки (як уже зазначалося, відхилення за рівнем у з'єднувальній частині складало 14 мм). У межах переднього вильоту рамної рейки для вагонів максимальні сили реєструвались на зовнішній рейці, для локомотивів − на внутрішній.

Найбільші величини горизонтальних сил склали для рамних рейок 98,7 кН, для з'єднувальної частини − 107,7 кН.

Горизонтальні переміщення рейок та зміна ширини колії. У всіх перерізах спостерігалися тільки пружні переміщення, залишкових переміщень не зафіксовано. У разі пошерстного на-

прямку руху дослідного поїзда в передньому вильоті та при обох напрямках руху для з'єднувальної частини спостерігаються горизонтальні переміщення обох рейок, направлені назовні колії. Це цілком закономірно з огляду на наявність горизонтальних сил, направлених назовні колії, що діють на обидві рейки.

Максимальні величини горизонтальних переміщень для рамних рейок склали 5,3 мм (передній виліт рамної рейки), для з'єднувальної частини − 5,6 мм. В обох випадках це дані по внутрішній рейці, переміщення зовнішньої рейки в 1,5…2 рази менші. Необхідно зазначити, що така ситуація спостерігалась у всіх перерізах з'єднувальної частини, де були розташовані прогиноміри на обох рейках. У раніше випробуваних переводів з прикріпленням підкладки до бруса за допомогою закладного болта [3, 4] цього явища не зафіксовано, а максимальні переміщення були менші у 2 рази.

Горизонтальні переміщення рейкових елементів у з'єднувальній частині для локомотивів та завантажених вагонів перевищують наведені вище граничні значення майже для всіх досліджених швидкостей. Зважаючи на те що ця величина «рекомендована», а не «допустима», причиною обмеження швидкостей руху поїздів по дослідному переводу вона бути не може. Не виключено, що зменшення бокової жорсткості дослідного переводу, про що свідчать ці дані, призведе до зменшення інтенсивності горизонтального зносу рейок перевідної кривої та гостряка.

Таблиця 8

Середні ($\overline{P}$) та максимальні ймовірні ($P^{\text{й}}_{\max}$) величини вертикальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, кН

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\overline{P}$	$P^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{P}$	$P^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{P}$	$P^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{P}$	$P^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{P}$	$P^{\text{й}}_{\max}$
Рамні рейки										
ВЛ11	137,3	165,5	135,6	167,7	134,7	168,7	150,3	191,4	151,8	194,9
ВЛ8	146,0	172,1	151,7	179,5	154,1	176,8	155,7	181,9	160,9	186,2
Піввагон 23,9 т/вісь	142,0	176,0	136,2	168,9	145,5	172,0	152,5	196,6	147,5	184,6
Піввагон 18,1 т/вісь	97,9	117,4	98,2	125,7	103,4	132,3	121,6	157,2	106,7	147,9
Піввагон 10,6 т/вісь	56,0	81,8	61,6	84,6	65,7	101,0	70,5	90,1	64,3	87,3
Пасажирський вагон	78,1	108,1	82,3	107,1	89,3	111,0	86,4	118,6	89,0	118,4
З'єднувальна частина										
ВЛ11	130,5	161,1	130,0	163,8	132,2	161,9	139,7	171,5	131,5	182,9
ВЛ8	148,8	191,2	147,5	183,7	147,5	168,3	140,7	170,8	150,2	193,5
Піввагон 23,9 т/вісь	131,0	170,3	122,6	165,0	128,7	175,9	134,6	180,4	132,9	175,1
Піввагон 18,1 т/вісь	102,7	143,1	121,9	141,8	109,2	151,4	115,1	147,2	96,3	146,3
Піввагон 10,6 т/вісь	65,1	96,9	56,8	90,8	61,6	108,1	63,3	107,6	65,3	102,4
Пасажирський вагон	81,1	118,8	77,9	108,5	74,7	105,1	72,5	108,9	88,2	123,7

Таблиця 9

Середні ($\overline{H}$) та максимальні ймовірні ($H^{\text{й}}_{\max}$) величини горизонтальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, кН

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\overline{H}$	$H^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{H}$	$H^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{H}$	$H^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{H}$	$H^{\text{й}}_{\max}$	$\overline{H}$	$H^{\text{й}}_{\max}$
Рамні рейки										
ВЛ11	64,2	88,4	66,6	86,0	65,7	89,2	61,2	84,7	70,0	96,6
ВЛ8	75,5	94,3	77,1	94,6	82,3	95,7	71,4	98,7	71,1	97,5
Піввагон 23,9 т/вісь	65,3	85,7	63,7	81,2	62,5	84,3	64,3	82,1	61,6	79,7
Піввагон 18,1 т/вісь	53,6	70,7	52,9	73,5	57,0	73,5	62,0	74,9	57,4	74,8
Піввагон 10,6 т/вісь	35,1	47,5	33,9	41,9	33,9	48,5	36,3	45,6	34,0	47,4
Пасажирський вагон	34,5	46,7	34,4	47,7	33,8	44,6	38,9	48,5	38,5	46,7
З'єднувальна частина										
ВЛ11	64,8	82,0	62,8	78,1	54,6	79,8	59,3	83,8	61,8	90,3
ВЛ8	64,5	100,4	68,7	97,7	68,9	94,4	70,4	107,7	71,6	107,5
Піввагон 23,9 т/вісь	55,9	77,9	50,4	74,6	52,9	71,1	48,5	71,0	42,6	73,6
Піввагон 18,1 т/вісь	50,4	72,5	51,2	67,9	49,2	65,6	48,8	62,1	50,1	65,2
Піввагон 10,6 т/вісь	31,0	43,7	27,6	39,8	26,8	41,7	27,6	40,1	35,5	48,6
Пасажирський вагон	36,6	56,5	30,5	46,8	31,1	45,9	34,1	53,0	27,8	48,9

Таблиця 10

Середні ($\bar{y}$) та максимальні ймовірні ($y^{й}_{max}$) величини горизонтальних переміщень рейкових елементів, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, мм

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$	$\bar{y}$	$y^{й}_{max}$
Рамні рейки										
ВЛ11	3,24	3,96	3,37	4,24	3,33	4,13	3,20	4,48	3,43	4,44
ВЛ8	3,77	4,82	4,28	5,28	4,32	4,93	4,56	4,99	4,44	4,98
Піввагон 23,9 т/вісь	2,81	3,55	3,02	4,03	2,80	3,56	3,04	3,74	2,50	3,86
Піввагон 18,1 т/вісь	2,49	3,10	2,85	3,68	2,74	3,35	2,43	2,94	2,72	3,46
Піввагон 10,6 т/вісь	1,67	2,24	1,91	2,24	1,68	2,05	1,64	2,08	1,67	2,56
Пасажирський вагон	1,54	2,04	1,72	2,21	1,53	1,83	1,39	2,02	1,34	2,18
З'єднувальна частина										
ВЛ11	3,98	4,86	3,99	4,89	3,97	4,91	4,03	4,87	3,90	4,77
ВЛ8	3,71	5,45	4,13	5,56	4,51	5,49	4,33	5,09	4,26	4,61
Піввагон 23,9 т/вісь	3,49	4,60	3,52	4,56	3,49	4,32	3,32	4,36	2,89	4,03
Піввагон 18,1 т/вісь	3,43	4,35	3,45	4,16	3,40	4,26	3,13	3,84	2,83	3,68
Піввагон 10,6 т/вісь	2,07	2,88	2,26	2,99	2,18	2,99	2,14	2,74	1,99	2,57
Пасажирський вагон	2,70	3,62	2,54	3,34	2,60	3,52	2,54	3,34	2,26	3,12

Таблиця 11

Середні ($\bar{\Delta}$) та максимальні ймовірні ($\Delta^{й}_{max}$) величини зміни ширини колії, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, мм

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{\Delta}$	$\Delta^{й}_{max}$	$\bar{\Delta}$	$\Delta^{й}_{max}$	$\bar{\Delta}$	$\Delta^{й}_{max}$	$\bar{\Delta}$	$\Delta^{й}_{max}$	$\bar{\Delta}$	$\Delta^{й}_{max}$
Рамні рейки										
ВЛ11	5,17	6,46	5,33	6,55	5,12	6,67	5,31	6,38	5,21	6,90
ВЛ8	5,10	6,38	5,79	6,56	5,72	6,48	6,00	6,99	5,98	6,86
Піввагон 23,9 т/вісь	4,72	6,20	5,13	6,41	4,95	5,88	4,96	6,20	4,36	6,21
Піввагон 18,1 т/вісь	4,46	5,36	4,75	5,65	4,91	5,46	4,51	5,41	4,65	5,78
Піввагон 10,6 т/вісь	2,94	3,71	3,14	3,82	3,10	3,62	3,00	3,65	3,05	4,00
Пасажирський вагон	2,72	3,53	2,94	3,78	2,73	3,53	2,63	3,45	2,56	3,66
З'єднувальна частина										
ВЛ11	5,80	7,54	5,90	7,37	6,15	7,96	6,42	8,07	6,58	8,27
ВЛ8	4,87	6,88	4,71	6,72	4,94	6,93	5,94	6,48	5,48	5,99
Піввагон 23,9 т/вісь	4,46	6,27	4,59	6,40	4,75	6,22	4,89	6,59	4,55	6,98
Піввагон 18,1 т/вісь	5,04	6,53	4,98	6,38	5,22	6,52	4,97	6,40	4,94	6,01
Піввагон 10,6 т/вісь	3,32	4,46	3,52	4,56	3,47	4,76	3,28	4,20	3,31	4,25
Пасажирський вагон	3,91	5,17	3,84	5,17	3,96	5,17	4,08	5,10	3,60	4,98

Для визначення змін ширини колії показання обох приладів підсумовувались і одержані суми складали первинні вибірки, які надалі підлягали статистичній обробці.

Найбільші розширення незалежно від типу екіпажа наявні тільки під першими (напрямними) осями візків. Максимальні величини в межах перевідної кривої склали 8,3 мм, переднього вильоту – 7,0 мм.

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ДОСЛІДНОГО СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

На відміну від залізобетонних брусів, що застосовуються з металевими частинами переводів проектів 1740 та 2215, залізобетонні бруси дослідного переводу мають постійний поперечний переріз по всій довжині. Така конструкція краща для поточного утримання переводу та забезпечує зручніший прохід обслуговуючого персоналу, особливо в зимовий період, хоча ці зміни призводять до додаткових витрат бетону та збільшують масу основи переводу.

Армування брусів таке ж, як і в брусів зі змінною формою. Площа поперечного перерізу арматури 340 мм^2. Відстань від низу поперечного перерізу бруса до центру ваги напруженої арматури 82 мм, а та ж відстань до центру приведеного поперечного перерізу бруса – 79 мм. Ексцентриситет зусилля попереднього обтиску відносно центру ваги приведеного поперечного перерізу бруса складає -3 мм (для порівняння в залізобетонної шпали +8 мм).

Застосування шурупно-дюбельного кріплення стало причиною того, що підрейкові частини брусів не мають заглиблень. Таким чином, передача горизонтальних зусиль від рейки на брус здійснюється через підкладку, шуруп та дюбель. У серійних конструкціях брусів, завдяки підрейковим заглибленням, ці зусилля від підкладки передаються безпосередньо на брус через прокладку.

Оцінка напружено-деформованого стану основи переводу виконана на підставі аналізу горизонтальних переміщень елементів верхньої будови під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, де спостерігалися найбільші горизонтальні сили.

Отримані записи горизонтальних переміщень залізобетонних брусів показали, що під дією рухомого складу вони практично відсутні. На записах не видно відхилень від нульової лінії під час проходу колісної пари через місце, де встановлений датчик. Є незначні пружні деформації від дії окремого візка.

На записах горизонтальних переміщень підкладок осі виділяються чіткіше. Тобто наявне переміщення підкладки на брусі за рахунок деформації прокладки та дюбеля. Таким чином частина переміщень не передається на брус, а гаситься шурупно-дюбельним кріпленням.

Для отримання повної картини передачі горизонтальних зусиль від коліс рухомого складу на брусі використано дані датчиків горизонтальних переміщень головок рейок, які встановлені поблизу брусів, переміщення яких аналізувалося. Між брусами № 0 і № 1 – це датчики ПГ12 і ПГ13, між брусами № 26 і № 27 – ПГ9 і ПГ8, між брусами № 37 і № 38 – ПГ5 і ПГ4, між брусами № 42 і № 43 – ПГ2 і ПГ3.

Записи показують, що більша частина горизонтальних переміщень рейок пружно переробляється самою рейкою та кріпленням.

Для кількісної оцінки деформованого стану основи стрілочного переводу складені вибірки показань датчиків, які розділені за швидкостями та напрямком руху дослідного поїзда, типами рухомого складу, осями (напрямні та ведені) і за місцями розташування по довжині стрілочного переводу.

Під час аналізу на стрілочному переводі були виділені передній виліт рамних рейок (брус № 0) та з'єднувальна частина (бруси № 26, № 37 і № 43). У кожній з цих частин розміщений комплект приладів, показання яких дали можливість оцінити деформований стан основи стрілочного переводу в момент проходу будь-якої колісної пари. Розділялися показання приладів, що розміщувалися по внутрішній (рейки, що є продовженням гостряків) та зовнішній рейкових нитках.

Виходячи з цих положень, було проведено статистичну обробку експериментальних даних і їх групування. Розраховані середні та максимальні ймовірні величини переміщень залежно від швидкості руху дослідного поїзда. При цьому також були визначені середні квадратичні відхилення кожної статистичної вибірки та вибрані найбільші зафіксовані величини показників у вибірці.

У табл. 12 наведено вибірки величин горизонтальних переміщень рамних рейок, підкладки та бруса № 0, а саме середні й найбільші зафіксовані величини від дії напрямних осей локомотива серії ВЛ8 (деформації від осей якого є найбільшими) під час руху в пошерстному та протишерстному напрямках.

Таблиця 12

Статистики горизонтальних переміщень рамних рейок (прилади ПГ12, ПГ13), підкладки (прилад ПГП3) та бруса (прилад ПГБ6) у передньому вильоті, що зареєстровані під напрямними осями електровоза серії ВЛ8

Прилад	Середні та найбільші зафіксовані величини переміщень, мм, відповідно до напрямку й швидкості руху, км/год									
	пошерстний					протишерстний				
	5	15	25	40	50	5	15	25	40	50
Брус № 0										
ПГ12	1,9 2,4	1,9 2,5	1,7 2,9	1,8 2,8	1,9 2,3	0,2 1,1	0,2 0,9	0,2 0,9	0,3 1,0	0,4 1,2
ПГ13	3,8 4,6	4,1 5,1	4,1 5,1	4,4 4,9	3,9 4,9	0,7 1,5	0,7 1,5	0,5 1,2	0,5 1,2	0,5 1,1
ПГП3	0,9 1,3	0,9 1,6	0,9 1,6	1,1 1,6	1,0 1,6	0,3 0,6	0,5 0,7	0,5 0,8	0,5 0,9	0,5 0,8
ПГБ6	Брус практично не зміщується									
Порожнистий брус										
ПГБ5	1,1 2,3	1,1 2,1	1,2 2,3	1,4 2,3	1,5 2,4	0,6 0,8	0,7 0,9	0,8 1,1	0,8 1,1	0,8 1,3

Примітка: у чисельнику – середні значення,
у знаменнику – найбільші зафіксовані.

Оскільки брус № 0 розміщений у передньому вильоті, то важливим для цього перерізу є напрямок руху. Це підтверджується даними переміщень головок рамних рейок. При вході на стрілочний перевід з боку стрілки (протишерстний рух) середні величини горизонтальних переміщень не досягають і 1 мм, найбільші зафіксовані – 1,5 мм. У протилежному напрямку ці показники значно вищі − відповідно 2,3 мм і 3,1 мм для зовнішньої рамної рейки (вихід з

криволінійного гостряка) та 4,2 мм і 5,6 мм для внутрішньої.

Підкладка, яка лежить під зовнішньою рамною рейкою, має переміщення назовні до 1,1 мм за середніми величинами, а найбільші відхилення досягають 1,7 мм у разі руху в пошерстному напрямку. Чітко відслідковуються максимуми під час проходження коліс, хоча амплітуда горизонтальних переміщень, у порівнянні з переміщеннями головок рамних рейок, значно менша. Зі зміною напрямку руху величини зміщень підкладки не перевищують 0,9 мм.

Горизонтальних переміщень бруса № 0 практично немає. Брус лежить стабільно. Зусилля, а відповідно й горизонтальні деформації сприймаються й розподіляються рамними рейками та вузлами скріплень. Таким чином зусилля, що передаються на окремий брус, не перевищують сил його горизонтального опору (сил тертя бетону об баласт, опору плеча баластної призми) і не можуть змістити брус поперек колії.

Інша картина з горизонтальною стабільністю порожнистого бруса, який одночасно виконує роль опори та монтажної конструкції перевідного механізму. Його горизонтальні переміщення досягають у середньому 1,5 мм, а найбільші зафіксовані – 2,4 мм. Заміна двох брусів на таку конструкцію не створює відповідного горизонтального опору. Тертя металу об баласт менше, немає плеча баластної призми.

З переходом до з'єднувальної частини змінюється картина взаємодії – зникає значна різниця в показниках, що залежать від напрямку руху дослідного поїзда. Змінюються величини найбільших горизонтальних переміщень із зовнішньої на внутрішню головку рейок перевідної кривої. Горизонтальних переміщень брусів практично немає. Зміна швидкості руху дослідного поїзда від 5 до 50 км/год не веде до збільшення розглянутих показників. Таким чином, зменшення кількості підрейкових опор за рахунок збільшення відстаней між осями брусів у розглянутих зонах переводу не призвело до зниження горизонтальної стабільності конструкції. Винятком є порожнистий брус.

Його значні горизонтальні деформації доповнюються нестабільним положенням у вертикальній площині. Проведене порівняння вертикальних деформацій порожнистого бруса (датчики ПВБ6 і ПВБ5 під час руху по боковому напрямку, ПВБ2 і ПВБ1 – по прямому) з даними датчиків вертикальних прогинів рамних рейок, встановлених на відстані менше 1 м (див. рис. 1), показує, що коли колісна пара перебуває в перерізі над приладами ПВ10 і ПВ11, прогини рейок менші ніж прогини бруса, коли колісна пара перебуває над коробом. Ще менші значення фіксуються датчиком вертикальних переміщень підкладки, яка розміщена на брусі № 0. Тобто, у місцях, де рамна рейка опирається на залізобетонні бруси, осідання менші.

Зафіксовано значні вертикальні переміщення порожнистого бруса, що розташований у зоні хрестовини. Його прогини більші під зовнішньою рейкою, яка навантажена, і зменшуються на протилежному його кінці. Під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку переводу його вертикальні прогини перевищували 5 мм.

ВИСНОВКИ

1. Результати натурного випробування стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 на міцність свідчать, що показники його напружено-деформованого стану, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому та боковому напрямках зі швидкостями до 160 км/год та до 50 км/год відповідно, не перевищують допустимих та рекомендованих величин при всіх реалізованих швидкостях, за винятком горизонтальних переміщень рейкових елементів під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку.

2. Максимальні ймовірні величини горизонтальних переміщень рейкових елементів, одержані під впливом коліс локомотивів та завантажених піввагонів, перевищують рекомендовані значення майже за всіх досліджених швидкостей. Зважаючи на те, що ця величина має статус «рекомендованої», а не «допустимої», причиною обмеження швидкостей руху поїздів по дослідному переводу вона бути не може.

Не виключено, що зменшення бокової жорсткості дослідного переводу, про що свідчать ці дані, призведе до зменшення інтенсивності горизонтального зносу рейок перевідної кривої та гостряка.

3. Вилучення горизонтальних упорок із конструкції рамних рейок дослідного переводу та заміна проміжного кріплення призвели до збільшення напружень у зовнішній кромці гостряка (під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку) на 21…43 % відносно величин, одержаних під час випробувань стрілочних переводів проектів 65109Ж-01 та 65111Ж [3, 4].

4. Наявність та розташування упорних накладок, що входять до конструкції рамних ре-

йок, суттєво впливають на напружено-деформований стан гостряка. Оптимальне їх розміщення дозволяє зменшити величини напружень, що виникають у ньому.

5. Вертикальні та горизонтальні переміщення металевих порожнистих брусів свідчать про їх нестабільне положення у вертикальній та горизонтальній площинах. Результатом їх застосування може стати збільшення витрат праці на утримання стрілочного переводу та зовнішніх замикачів. Порожнисті бруси не слід використовувати як несучу конструкцію стрілочного переводу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. ВНД 32.1.07.000-02 [Текст]: затв.: Наказ Укрзалізниці 12.07.02. № 360-Ц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2002. – 51 с.
2. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. ЦП-0050 [Текст]: затв.: Наказ Укрзалізниці 06.04.98. № 82-Ц. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с.
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 // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. − Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. − Вип. 31. − 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 // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. − Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. − Вип. 32. − С. 186-192.

Надійшла до редколегії 09.04.2010.
Прийнята до друку 20.04.2010.

УДК 625.032.432

В. В. РИБКІН, К. Л. КАЛЕНИК (ДІІТ)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДСТУПІВ ЗА ШИРИНОЮ КОЛІЇ ТА ЗА НАПРЯМКОМ У ПЛАНІ В МЕЖАХ БОКОВОГО НАПРЯМКУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА ВПЛИВУ НА КОЛІЮ

У роботі аналізується вплив відступів у плані бокового напрямку стрілочних переводів на безпеку руху та величину бокової сили. Наведено результати експлуатаційних досліджень цих відступів. Обґрунтовано передумови для нормування допустимих швидкостей руху по боковому напрямку стрілочних переводів.

В работе анализируется влияние отступлений в плане бокового направления стрелочных переводов на безопасность движения и величину боковой силы. Приведены результаты эксплуатационных исследований этих отступлений. Обоснованы предпосылки для нормирования допустимых скоростей движения по боковому направлению стрелочных переводов.

The paper analyzes the impact of deviations in terms of lateral turnouts for traffic safety and the magnitude of lateral force. The results of performance studies of these deviations are presented. The preconditions for rationing the permissible traffic speeds on the lateral turnout of switches are substantiated.

Ширина колії є однією з найголовніших характеристик колії, яка забезпечує безпеку руху поїздів. На сьогодні існують нормативи ширини колії в межах стрілочних переводів, але не існує нормованих ступенів відступів по впливу на безпеку руху, плавність ходу та інтенсивність накопичення залишкових деформацій.

Вплив ширини колії в межах стрілочного переводу на показники безпеки руху аналізувався в роботах [1 – 5]. Теоретичною основою більшості зазначених робіт було використання відомих [2] залежностей при ударі абсолютно жорстких тіл. Використання цього методу не дає можливості аналізувати взаємодію екіпажу та стрілочного переводу в часі. В експериментальній частині досліджень [3 – 4] використовувалась дуже мала кількість тензометричних датчиків, що не давало можливості повною мірою аналізувати вплив ширини колії на напружено-деформований стан колії. Також слід зазначити експериментальні дослідження впливу ширини колії на показники взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочних переводів, проведених під керівництвом проф. Б. Е. Глюзберга. Недоліком цих досліджень було неврахування положення у плані та профілі стрілочних переводів під час випробувань. Цього недоліку були позбавлені експериментальні комплексні випробування стрілочних переводів з відхиленнями від допусків утримання в плані та профілі [5], проведені під керівництвом к.т.н. А. П. Татуревича та д.т.н. Г. Г. Желніна, але в цій роботі були дуже загальні висновки відносно впливу ширини колії на показники безпеки руху поїздів.

Основною метою даної роботи є встановлення впливу відступів за шириною колії та за напрямком у плані в межах бокового напрямку стрілочних переводів на допустиму швидкість руху по них. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. встановити критерії безпеки руху та допустимої дії від рухомого складу на колію в межах стрілочних переводів;
2. розробити математичну модель взаємодії екіпажу та колії в межах бокового напрямку стрілочного переводу;
3. визначити основні особливості взаємодії в межах бокового напрямку;
4. провести експлуатаційні дослідження ширини колії та положення у плані стрілочних переводів;
5. провести обґрунтування використання розробленої моделі шляхом порівняння основних показників взаємодії, які отримані теоретично та експериментально;
6. проаналізувати вплив відступів, що присутні при експлуатації колії, на безпеку руху та не перевищення допустимої дії від рухомого складу на колію за допомогою апробованої математичної моделі.

Щоб обрати критерії безпеки руху та допустимої дії на колію в межах стрілочних переводів, було проаналізовано українські та російські нормативні документи з цього питання [6 – 11]. В нормативному документі [11] у якості допус-

© Рибкін В. В., Каленик К. Л., 2010

тимої величини бокових сил використовуються для рейок типу Р50 – 120 кН, а для Р65 – 150 кН. Зазначені величини були отримані д.т.н. Г. Г. Желніним [12], виходячи з фіксування перенапружень у згаданих вище типах рейок при зазначених величинах бокових сил. Але слід зауважити, що напруження у кромці рейки формуються під сумісною дією вертикальних та горизонтальних бокових сил. Ця обставина в дослідженнях Г. Г. Желніна неврахована, тому для використання вищезазначених величин бокових сил необхідно провести додаткові дослідження по сумісному впливу вертикальних та бокових сил на величину кромочних напружень у рейках. Крім того, встановлення допустимих бокових та вертикальних сил з умов недопущення перенапружень у рейках є недоцільним, бо напруження у кромках підошви завжди фіксуються як окремий показник при дослідженні напружено-деформованого стану стрілочних переводів.

На наш погляд, критерії допустимої дії бокових сил необхідно встановлювати з умов стійкості та недопущення залишкових деформацій рейкових елементів та скріплень під дією окремих екіпажів. Також необхідно враховувати, крім типу рейок, ще й вид підрейкової основи. Тому, у якості першого наближення, ми обрали окремо критерії для стрілочних переводів на залізобетонних та дерев'яних брусах. Для дерев'яної підрейкової основи, згідно дослідження д.т.н М. Ф. Веріго [13] та досвіду російських вчених [8, 9], було прийнято величину бокової сили 100 кН. Для встановлення допустимої величини для залізобетонних брусів нами було виконано відповідні дослідження згідно [10]. За результатами цих досліджень, допустима величина бокової сили складає 120 кН. У якості показників безпеки руху було обрано експериментально отримані к.т.н. Лисюком коефіцієнти стійкості – відношення бокової сили до вертикальної [6], що визначається за формулою

$$\frac{Y_б}{P} \le 0{,}86\,,$$

де P та $Y_б$ – вертикальна та бокова сила, що передається від колеса на рейку, кН.

Зауважимо, що вкочення колеса на рейку відбувається не миттєво, а на протязі деякої довжини; згідно досліджень випадків порушення безпеки руху [7], ця довжина складає 0,6…5 м. У якості допустимої нами прийнята нижня границя 0,6 м.

До моделювання взаємодії в межах перевідної кривої було обрано 4 проекти стрілочних переводів. Для них встановлена допустима швидкість руху у діючих нормативних документах [14] та діапазон непогашених відцентрових прискорень, що діє в межах перевідної кривої, для цих проектів перекриває практично весь існуючий діапазон для всіх стрілочних переводів, що експлуатуються, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики бокового напрямку стрілочних переводів

№ проекту	R, м	М	Встановлена швидкість, км/год	Тип	Відцентрове прискорення, м/с^2
1740	300	1/11	40	Р65	0,41
2064	422	1/9	50	Р50	0,46
Дн060	962	1/18	80	Р65	0,51
2063	540	1/11	70	Р50	0,7

Моделювання виконувалось на розробленій та апробованій математичній моделі вантажного піввагона на візках 18-100 [15, 16].

Аналіз взаємодії проводився в два етапи: теоретичний та експериментальний. На першому етапі аналізувались особливості взаємодії піввагона та зазначених вище стрілочних переводів по боковому напрямку. Другий етап передбачав проведення експлуатаційних досліджень ширини колії та положення у плані бокового напрямку, найбільш масових стрілочних переводів: М 1/11-1/9, Р65 на залізобетонних брусах. Зазначені стрілочні переводи мають однакову конструкцію стрілки, що надало можливість проводити обміри по одній технології:

1. розбивка стрілочного переводу від переднього стику рамної рейки до прямої вставки перед хрестовиною з шагом один метр;
2. обмір ширини колії в отриманих перетинах;
3. обмір ординат в отриманих перетинах починаючи з кореня гостряка.

Проаналізувавши результати по обох етапах, нами вперше було помічено, що характер зміни ширини колії по боковому напрямку стрілочних переводів повторює зміну бокової сили від колеса, що набігає на упорну нитку перевідної кривої, що показано на рис. 1. Отримані результати дозволили виділити по боковому напрямку дві характерні зони: зона набігання на вістряк та перевідна крива.

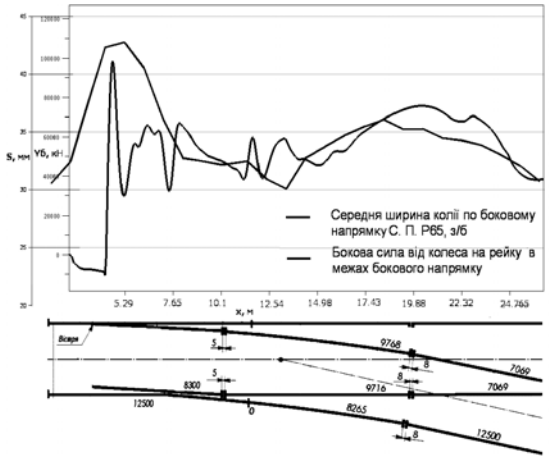


Рис. 1. Зміна ширини колії та бокової сили в межах бокового напрямку стрілочного переводу

Розглянемо вплив ширини в межах зони набігання. Результати для стрілочних переводів на дерев'яних брусах представлено на рис. 2.

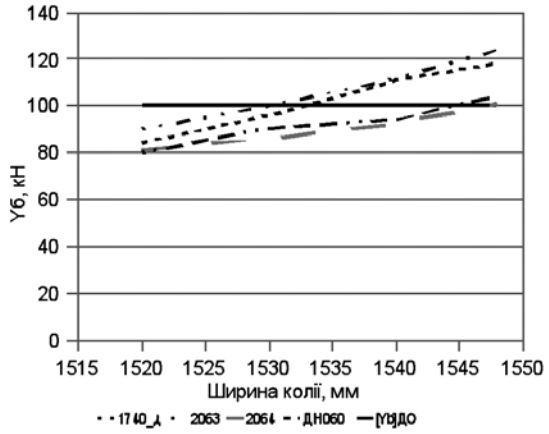


Рис. 2. Вплив ширини колії в межах зони набігання стрілочних переводів на дерев'яних брусах на величину бокової сили

З наведених на рис. 2 результатів бачимо, що ширина колії в цій зоні істотно впливає на бокову силу, причому інтенсивність зростання сили значно вище для стрілочних переводів з швидкістю руху 70 та 80 км/год. За прийнятим критерієм горизонтального впливу на стрілочні переводи на дерев'яних брусах маємо наступні межі ширини колії при яких швидкість можливо не обмежувати:

1. проект 1740 – 1543 мм;
2. проект 2064 – 1545 мм;
3. проект 2063 – 1530 мм;
4. проект Дн060 – 1532 мм.

Розглянемо окремо результати для стрілочного переводу проекту 1740 на залізобетонних брусах (рис. 3). Вони свідчать про істотний вплив жорсткості в межах зони набігання на величину бокової сили. Так, бокова сила при ширині колії в цій зоні 1546 мм для проекту 1740 на дерев'яних брусах складає 104 кН, а для 1740 на залізобетонних – 123 кН. За критерієм недопущення залишкових деформацій рейкових елементів для стрілочного переводу проекту 1740 на залізобетонних брусах допустима ширина колії, що не вимагає зменшення швидкості руху, складає 1545 мм.

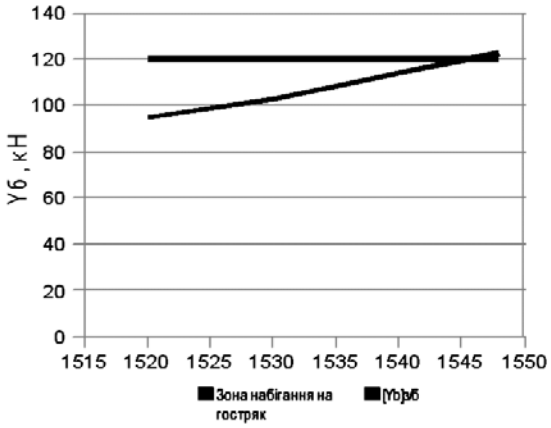


Рис. 3. Вплив ширини колії в межах зони набігання стрілочного переводу проекту 1740 на залізобетонних брусах на величину бокової сили

Перейдемо до аналізу впливу ширини колії в межах зони набігання на показники безпеки руху. Коефіцієнт стійкості показаний на рис. 4.

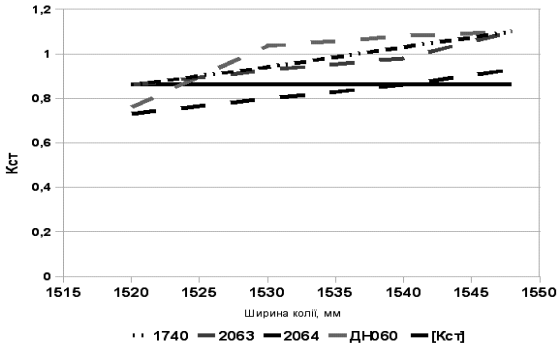


Рис. 4. Вплив ширини колії в межах зони набігання на коефіцієнт стійкості

Вплив ширини колії на зміну довжини втрати стійкості показаний на рис. 5.

Результати, наведені на рис. 4, показують, що для всіх стрілочних переводів, які досліджуються, в межах зони набігання на вістряк коефіцієнт стійкості перевищує допустиме значення 0,86, але показані на рис. 5 результати свідчать, що для жодного з переводів довжина зони втрати стійкості не перевищує допустиму – 0.6 м. Проаналізуємо більш детально процес втрати стійкості колесом при русі екіпажу по боковому напрямку стрілочного переводу, приклад зміни коефіцієнта показаний на рис. 6.

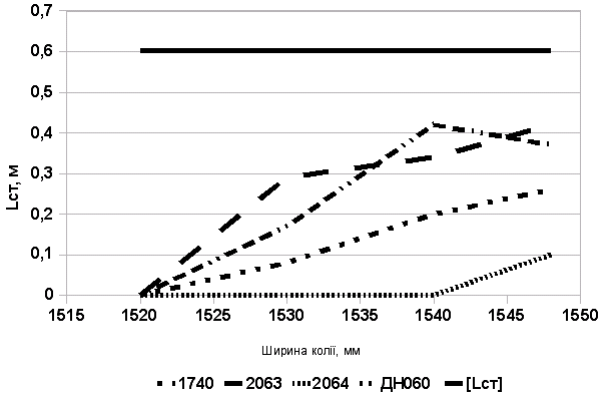


Рис. 5. Вплив ширини колії в межах зони набігання на довжину зони втрати стійкості

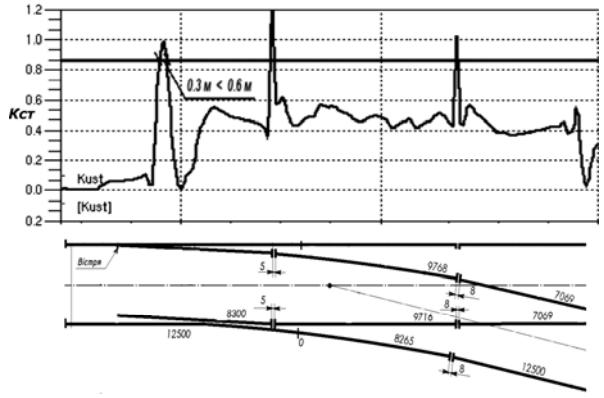


Рис. 6. Коефіцієнт стійкості при русі по боковому напрямку на колесі, що набігає на упорну нитку

Як бачимо з результатів, представлених на рис. 6, коефіцієнт перевищує допустиме значення при зустрічі колеса, що набігає, з вістряком та в межах стиків, але довжина втрати стійкості менше 0,6 м. Ці результати дають право зробити наступний висновок: для всіх стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується в межах діапазону ширини колії 1520…1546 мм.

Виконаємо аналіз впливу ширини колії в межах другої зони – перевідної кривої стрілочних переводів на величину бокової сили та показники безпеки руху, результати наведено на рис. 7, 8, 9.

Представлені на рис. 7 результати свідчать про неістотний вплив ширини колії на бокову силу, але зауважимо, що для стрілочного переводу Дн060 із встановленою швидкістю руху 80 км/год інтенсивність зростання бокової сили від ширини колії більша ніж для стрілочних переводів зі встановленими швидкостями 40…70 км/год. Тому при проектуванні стрілочних переводів для швидкості руху по боковому напрямку більше 80 км/год питання впливу ширини колії необхідно дослідити окремо.

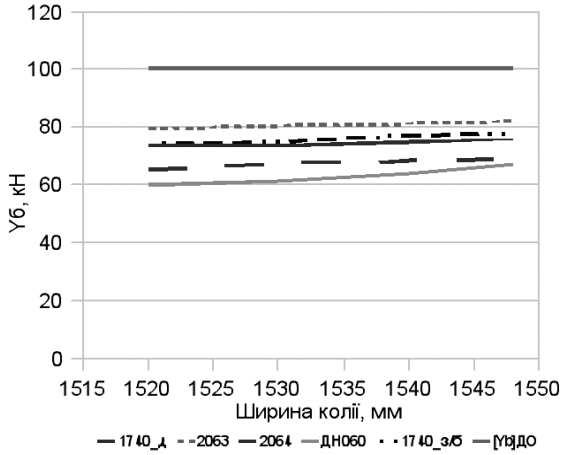


Рис. 7. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на величину бокової сили

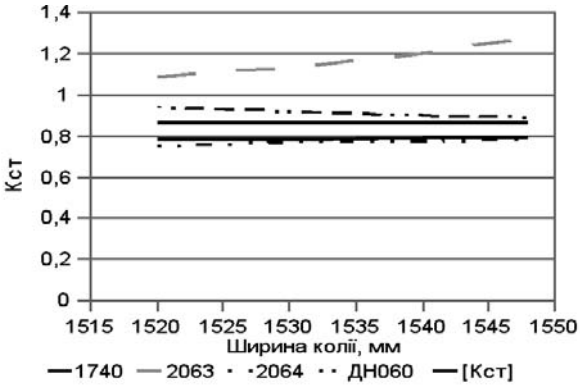


Рис. 8. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на коефіцієнт стійкості

Результати, представлені на рис 8, показують, що в межах бокового напрямку стрілочних переводів зі встановленими швидкостями 70…80 км/год коефіцієнти стійкості перевищують допустимий; зауважимо, що втрата стійкості в цих випадках обумовлена імпульсною зміною вертикального навантаження від колеса на рейку в межах стику, що підтверджується результатами, наведеними на рис. 9.

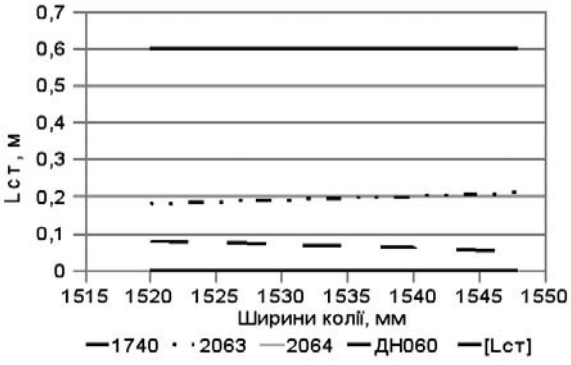


Рис. 9. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої на довжину зони втрати стійкості

Отримані в межах перевідної кривої результати дають право зробити наступний висновок: для всіх стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується в межах діапазону ширини колії 1520…1546 мм. Тому можливо зробити висновок, що для всіх стрілочних переводів, які досліджувались, підстави для обмеження швидкості руху в межах перевідної кривої немає в діапазоні ширини колії 1520…1546 мм.

Перейдемо до аналізу впливу нерівностей у плані в межах перевідної кривої. Згідно діючих нормативних документів [14], положення у плані бокового напрямку стрілочних переводів контролюється ординатами упорної нитки перевідної кривої. Тому під час експлуатаційних досліджень, крім ширини колії, виконувались проміри ординат перевідної кривої від кореня вістряка з кроком 1 м в тих же перетинах, де вимірювалась ширина колії. Така методика дала змогу проаналізувати взаємозв'язок між відступами в ординатах та за шаблоном від норм, середні значення яких показані на рис. 10.

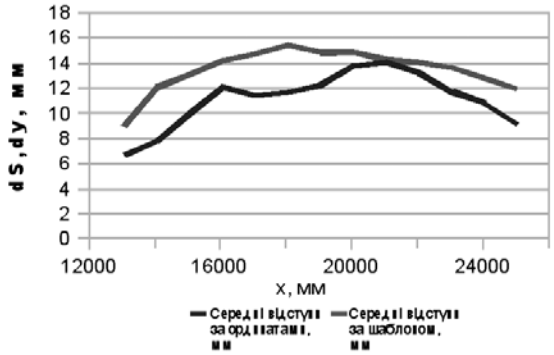


Рис. 10. Середні відступи за шириною колії та за ординатами в межах перевідної кривої

Представлені на рис. 10 результати показують практично однаковий характер зміни відступів по ординатах і по шаблону в межах перевідної кривої. Цей висновок підтверджується коефіцієнтом кореляції 0,93 між обома відступами. Хоча результати отримані для стрілочних переводів типу Р65 на залізобетонних брусах, але характер взаємодії в межах бокового напряму стрілочних переводів однаковий, тому результати експлуатаційних та теоретичних досліджень дають право зробити наступні висновки:

1. Відступ за шириною колії в межах перевідної кривої обумовлений залишковими деформаціями упорної нитки перевідної кривої.
2. Відступ за шириною колії в межах перевідної кривої є одночасно відступом за ординатами.
3. Нерівність у плані в межах перевідної кривої є одночасно ухилом відводу ширини колії по упорній нитці.

Отримані висновки надали змогу при моделюванні одночасно аналізувати вплив амплітуд відступів по різниці відхилень у суміжних ординатах та ухилу відводу ширини колії по упорній нитці (далі *dy* та *dS* відповідно); схема моделювання наведена на рис. 11.

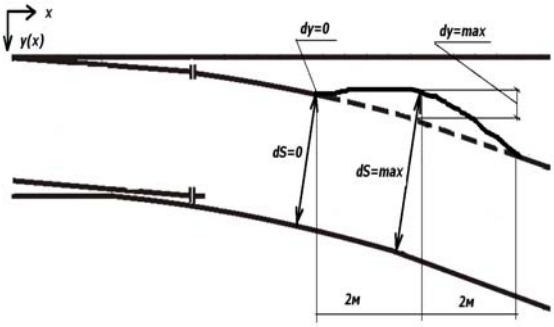


Рис. 11. Схема моделювання нерівності у плані по упорній нитці перевідної кривої:
dS – відступ за шириною колії;
dy – відступ за напрямком у плані

Діапазон амплітуд нерівностей, прийнятий до моделювання наступний:

- *dy*: 2…10 мм;
- *dS*: 1…5 мм/м.

Зазначимо, що прийнята у [14] норма різниці відступу у суміжних ординатах (2 мм), була запропонована д.т.н. Б. Е. Глюзбергом без обґрунтування її з умов впливу на взаємодію, а в наступних своїх дослідженнях [18] він разом з к.т.н. Ю. М. Радигіним запропонував значно ширший діапазон цієї норми. Перейдемо до результатів моделювання, вплив амплітуди нерівностей *dy* та *dS* на величину бокової сили показаний на рис. 12.

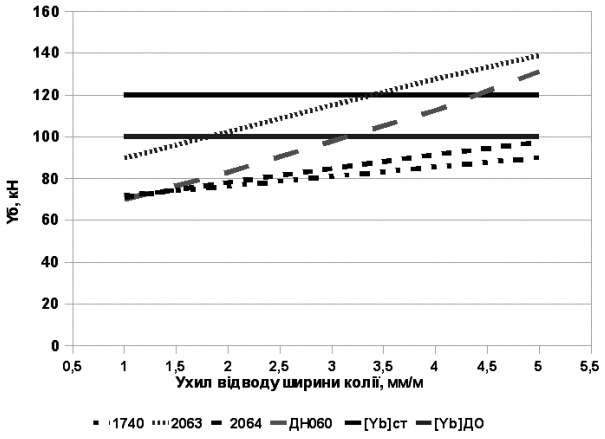


Рис. 12. Залежність бокової сили від амплітуди нерівності у плані по упорній нитці перевідної кривої

Представлені на рис. 12 дані дають право зробити висновок про істотний вплив амплітуди

нерівності на величину бокової сили; зауважимо, що інтенсивність зростання істотно залежить від швидкості руху. Тому для стрілочних переводів проекту 2064 та 1740 навіть при різності у відступах суміжних ординат 10 мм та ухилі відводу ширини колії 5 % немає підстав обмежувати швидкість за критерієм допустимого бокового впливу на стрілочні переводи на дерев'яних брусах, а для проектів Дн060 та 2063 необхідно обмежувати встановлену швидкість руху вже при *dS* 2…3 мм/м, а *dy* 4…6 мм відповідно. Вплив амплітуд зазначених вище нерівностей на показники безпеки руху показаний на рис. 13 та 14.

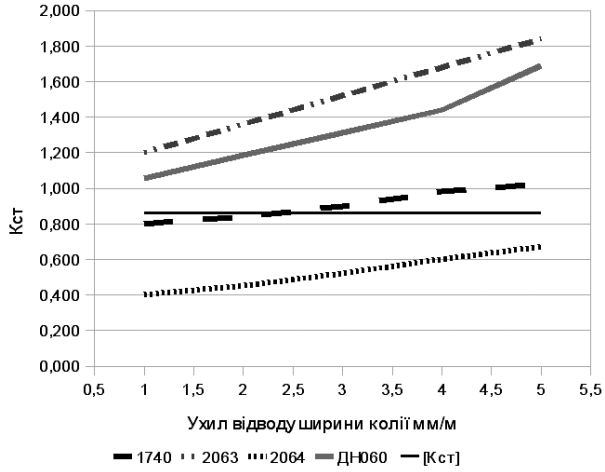


Рис. 13. Вплив амплітуди нерівності у плані на коефіцієнт стійкості

Як бачимо, практично для всіх стрілочних переводів, які досліджуються, коефіцієнти стійкості в межах нерівності перевищують допустимий. Але, як видно з рис. 14, довжина зони втрати стійкості в жодному з випадків не перевищує 0,6 м.

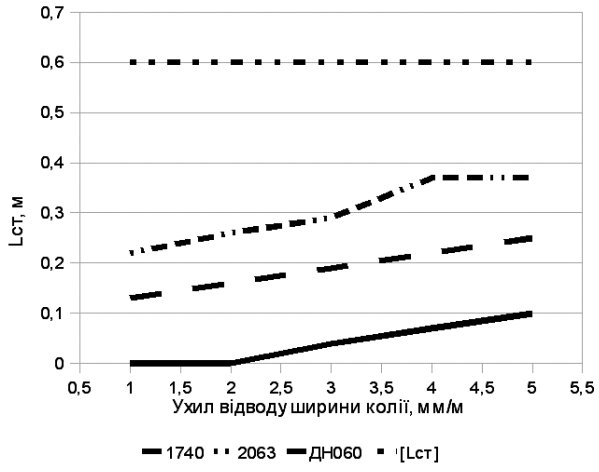


Рис. 14. Вплив амплітуди нерівності у плані на довжину втрати стійкості

Тому можливо зробити наступний висновок: для всіх стрілочних переводів, що досліджувались, безпека руху забезпечується при діапазоні відступів у плані:

- різниця відступу у суміжних ординатах 2…10 мм;
- ухил відводу ширини колії по упорній нитці 1…5 мм/м.

В дослідах д.т.н. Єршкова [19] була вперше експериментально отримано пряму залежність між відцентровим прискоренням, що діє в кривій ділянці колії, та боковою силою в межах нерівності. На відміну від кривих ділянок на магістральних лініях, які проектуються з наперед заданим відцентровим прискоренням, відцентрові прискорення, що діють в межах перевідних кривих, мають певний діапазон, що обумовлено конструктивними чи геометричними вимогами до довжини стрілочного переводу. Тому представляє інтерес визначити вплив відцентрового прискорення, що діє в межах перевідної кривої, на величину бокових сил; результати представлено на рис. 15.

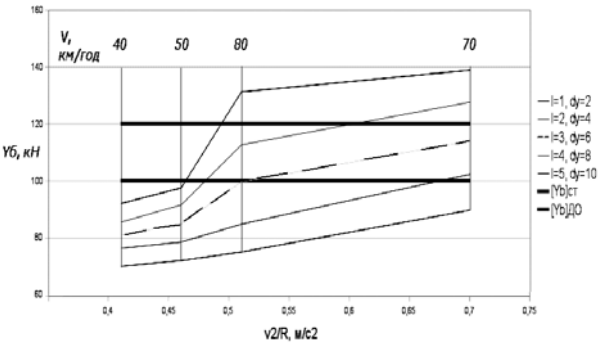


Рис. 15. Вплив відцентрового прискорення, що діє в межах перевідної кривої на бокову силу в межах нерівності у плані

На основі результатів, представлених на рис. 15, можливо зробити наступні висновки:

1. Зростання бокової сили в межах нерівності пропорційно відцентровому прискоренню, що діє в межах перевідної кривої та швидкості руху.
2. Вплив амплітуди нерівності у плані на величину бокової сили суттєво залежить від відцентрового прискорення та швидкості руху.

На підставі виконаних досліджень по впливу відступів за шириною колії та за напрямком у плані бокового напрямку стрілочних переводів можемо зробити наступні висновки:

1. На величину бокових сил в межах бокового напрямку ширина колії впливає неістотно, крім зони набігання на вістряк при протишерстному русі. Істотно

впливають нерівності у плані по упорній нитці. Такий же висновок був отриманий експериментальним шляхом [5].

2. Відступи за положенням у плані та за шириною колії в межах бокового напряму стрілочних переводів необхідно назначати в залежності від експлуатаційних характеристик – радіусу та швидкості руху, як це прийнято в загальносвітовій практиці експлуатації залізниць [20].

Слід зауважити, що в даній роботі не аналізувався вплив наступних факторів:

1. нерівностей у профілі;
2. співпадіння нерівностей у профілі та у плані;
3. профілю головки рейки та колеса;
4. довжини нерівності.

Ці задачі планується виконати на наступному етапі досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Крысанов, Л. Г. Влияние ширины колеи и желобов в крестовинном узле на условия прохождения по нему колесных пар [Текст] / Л. Г. Крысанов, Н. Н. Елсаков // Вестник ВНИИЖТ. – М., 1975. – № 3. – С. 34-39.
2. Шахунянц, Г. М. О допускаемых скоростях движения на боковой путь и об основных геометрических параметрах для проектирования стрелочных переводов [Текст] / Г. М. Шахунянц // Труды МИИТа. – М., 1958. – № 80/1. – С. 56-67.
3. Яковлев, В. Ф. Влияние сужения рельсовой колей на состояние железнодорожного пути и плавность движения поездов [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Труды ЛИИЖТа. – Л., 1963. – № 191. – С. 7-28.
4. Яковлев, В. Ф. Напряженное состояние и деформированное состояние стрелочного перевода марки 1/11 при ширине колеи 1530 мм [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Труды ЛИИЖТа. – Л., 1963. – № 191. – С. 30-63.
5. Разработать нормативы скоростей движения по стрелочным переводам с учетом их фактического состояния [Текст] : звіт про НДР / ДИИТ. КГНДЛ. – Д., 1988. – 147 с.
6. Лысюк, В. С. Причины и механизм схода колес с рельса. Проблема износа колес и рельсов.[Текст] / В. С. Лысюк. – М.: Транспорт, 1997. – 188 с.
7. О запасе устойчивости колеса против схода с рельса [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Залізн. трансп. України. – К., 2002. – № 2. – С. 22-24.
8. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ [Текст]. – М., 1998. – 72 с.
9. Вагоны грузовые железнодорожные. Требования по сертификации [Текст]. – М., 1998. – 16 с.
10. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е. І Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – С. 168.
11. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність [Текст]. – К.: Транспорт України, 2006. – 16 с.
12. Желнин, Г. Г. Допустимые скорости движения на боковое направление стрелочного перевода с учетом его фактического состояния [Текст] : автореф. дис. … докт. техн. наук / Г. Г. Желнин. – М.: ВНИИЖТ, 1992. – 45 с.
13. Вериго, М. Ф. Установление норм боковых динамических нагрузок подвижного состава по условию устойчивости пути поперечному сдвигу [Текст] / М. Ф. Вериго, С. С. Крепкогорский // Тр. ЦНИИ МПС. – М., 1962. – № 248. – С. 25-28.
14. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0138 [Текст] / Е. І. Даніленко [та ін.] – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
15. Рибкін, В. В. Особливості математичної моделі взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного переводу [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 204-207.
16. Рыбкин, В. В. Совершенствование методики контроля положения стрелочных переводов в плане [Текст] / В. В. Рыбкин, К. Л. Каленик // Сб. науч. тр. науч.-практ. конф. ОАО «РЖД». Инфраструктура 2009. – М.: Интекст, 2009. – С. 79.
17. Рибкін, В. В. Вплив ширини колії в межах перевідної кривої звичайних стрілочних переводів на взаємодію колії та рухомого складу [Текст] / В. В. Рибкін, К. Л. Каленик // Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 204-207.
18. Радыгин, Ю. Н. Совершенствование геометрических параметров и норм содержания стрелочных переводов [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук / Ю. Н. Радыгин. – М., 2007. – 25 с.
19. Ершков, О. П. Теоретический анализ влияния расстройств рельсовой колеи на динамическое воздействие подвижного состава и пути и оценка неравножесткости рельсовых нитей. [Текст] / О. П. Ершков, М. Г. Зак, Е. Д. Ткачев // Труды ВНИИЖТа. – М., 1980. – № 628. – С. 67-101.
20. Reglement consernant la securite de la voie. L'association des chemins de fer du Canada. 3 november [Текст]. Канада. 2008. 30 с.

Надійшла до редколегії 17.05.2010.
Прийнята до друку 28.05.2020.

УДК 531.36 : 531.312.1 : 531.311 : 531.381 : 531.215

В. Е. АРТЁМОВ (ДИИТ)

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА К ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

В роботі розглянуто деякі аспекти динамічного розрахунку просторових стержневих систем із використанням нелінійних диференціальних рівнянь Ейлера. Викладено методику визначення тензору інерції для вузла стержневої системи.

В работе рассмотрены некоторые аспекты динамического расчета пространственных стержневых систем с использованием нелинейных дифференциальных уравнений Эйлера. Изложена методика определения тензора инерции для узла стержневой системы.

In the article some aspects of the Euler dynamic equations applied to modeling the three-dimensional bar systems are presented.

Проблемам динамического расчета строительных конструкций посвящено достаточно большое количество научных работ и исследований, обстоятельные обзоры по которым выполнены, например, в [1 – 3]. Однако, в силу объективных причин, связанных с историей становления динамики сооружений как науки и развитием аналитических методов расчета, под термином «динамический расчет» традиционно принято понимать гармонический или частотный анализ конструкции [4].

Вместе с тем, существуют и другие методы динамического расчета механических систем, в частности, расчет во временной области, имеющий определенные преимущества по сравнению с частотными методами [5]. Он позволяет моделировать пространственную работу конструкции с учетом инерции вращения масс во времени, учитывать воздействие подвижных нагрузок, нелинейного трения и др. Суть метода сводится к последовательному выполнению следующих операций: разделение временной оси на равные интервалы; формирование уравнений движения узлов конструкции; проведение статического расчета конструкции; интегрирование уравнений движения узлов. Рассмотрим некоторые аспекты, связанные с реализацией данного подхода.

В постановке метода конечных элементов (МКЭ) статическая работа дискретной стержневой системы при заданных жесткостных и инерционных параметрах однозначно описывается состоянием ее узлов. С точки зрения вычислительной математики, расчет во временной области является итерационным процессом, который выполняется в определенные моменты времени $t_k, k = 1, 2, \ldots, k_{\max}$ и каждому моменту времени t_k будет соответствовать определенное напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции. Это означает, что статический расчет необходимо проводить на всем заданном интервале времени, так как параметры НДС системы, в общем случае, являются также функциями времени. Самыми длительными операциями при этом будут формирование общей матрицы жесткости и вычисление матрицы податливости МКЭ.

Для описания поступательного движения узла стержневой системы воспользуемся уравнениями движения твердого тела в векторной форме второго закона Ньютона [6]:

$$m\bar{a} = \bar{F}, \qquad (1)$$

где $m, \bar{a}$ – соответственно масса и вектор линейного ускорения узла; $\bar{F}$ – главный вектор активных сил, приложенных к узлу, с учетом реакций связей.

В координатной форме уравнения (1) примут вид:

$$m\ddot{x} = F_x; \quad m\ddot{y} = F_y; \quad m\ddot{z} = F_z. \qquad (2)$$

Здесь и далее точкой принято обозначение производной параметра по времени.

Даже при сложных видах нагружения процедура интегрирования уравнений (2) численными методами не представляет особых трудностей. Для этих целей может быть применен, например, метод Рунге-Кутта 4-го порядка точности [7].

© Артемов В. Е., 2010

Для описания вращательного движения узла будем исходить из динамических уравнений Эйлера, описывающих вращение твердого тела вокруг неподвижной точки [8]:

$$\begin{cases} J_1\dot{\omega}_1 + \left(J_3 - J_2\right)\omega_2\omega_3 = M_1; \\ J_2\dot{\omega}_2 + \left(J_1 - J_3\right)\omega_3\omega_1 = M_2; \\ J_3\dot{\omega}_3 + \left(J_2 - J_1\right)\omega_1\omega_2 = M_3, \end{cases} \qquad (3)$$

где J_1, J_2, J_3 – главные моменты инерции массы, сосредоточенной в узле; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – проекции угловой скорости узла; M_1, M_2, M_3 – проекции вектора главного момента сил, приложенных к узлу.

Уравнения (3) являются нелинейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, которые также называют гироскопическими уравнениями Эйлера [9]. Они описывают вращение i-го узла конструкции в системе координат $O_{e,i}$, геометрически представляемой эллипсоидом инерции (рис. 1, б). Индекс возле каждого параметра в (3) определяет направление главной оси инерции, относительно которой он рассматривается.

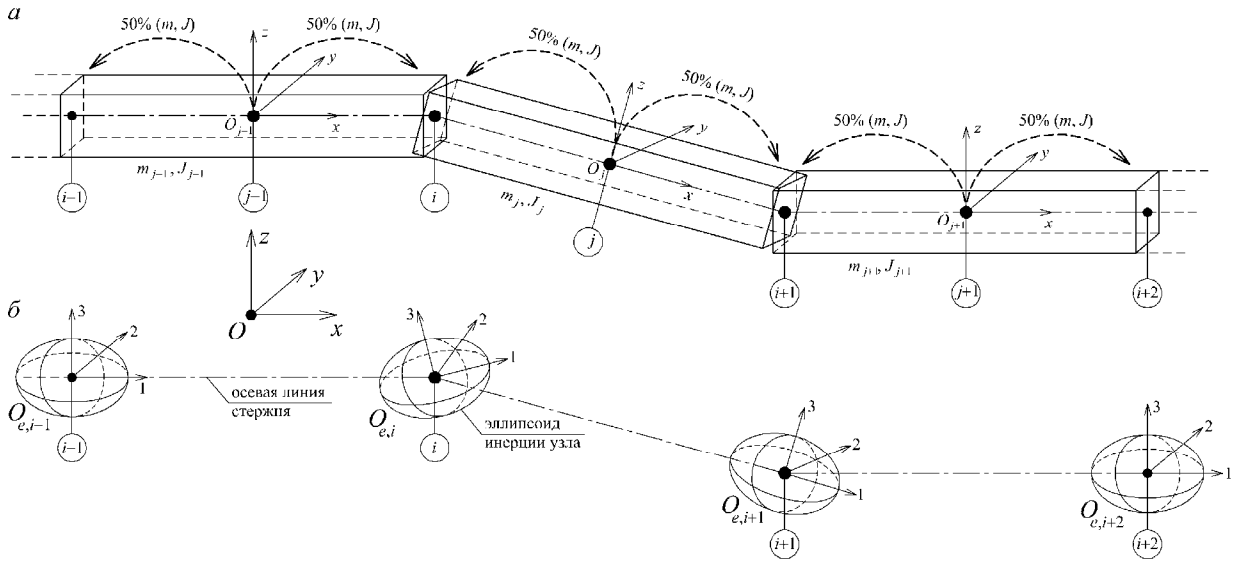


Рис. 1. Пространственная стержневая система:
а – схема распределения инерции; *б* – эллипсоиды инерции узлов

При определении инерционных характеристик узла следует помнить, что сам узел является абстрактным понятием и в реальной стержневой системе только стержень как твердое (деформируемое или недеформируемое) тело может обладать инерцией. Поэтому, по аналогии с жесткостными характеристиками, инерционные параметры j-го стержня также определяем в локальной системе координат O_j, совмещенной с центром тяжести стержня (рис. 1, а). При этом каждый узел, соединяемый стержнем, получает половину его сосредоточенной массы.

Распределение массы в твердом теле при рассмотрении вращательного движения описывается матрицей 3-го порядка – тензором инерции J [6]:

$$J = \begin{bmatrix} J_{xx} & J_{xy} & J_{xz} \\ J_{yx} & J_{yy} & J_{yz} \\ J_{zx} & J_{zy} & J_{zz} \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

где J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} – осевые моменты инерции массы, а остальные элементы – центробежные моменты инерции, которые принимаются в расчетах со знаком «минус».

Форма тензора (4) пригодна для описания инерционных характеристик как отдельно взятого стержня конструкции, так и узла. В случае произвольно ориентированного стержня его тензор инерции необходимо повернуть с помощью соответствующей матрицы поворота [10] и перенести в узел, используя теорему Гюйгенса-Штейнера [6], после чего все компоненты тензора будут соответствовать осям глобальной системы координат O.

Выполнив суммирование тензоров инерции всех стержней, сходящихся в *i*-м узле, получим матрицу (4). Однако использовать ее компоненты в уравнениях (3) можно только для систем, обладающих симметрией во всех направлениях. Тензор в этом случае будут определять только осевые моменты инерции, и они же будут являться главными (центробежные будут равны нулю):

$$J_1 = J_{xx}; \quad J_2 = J_{yy}; \quad J_3 = J_{zz}. \qquad (5)$$

Появление центробежных моментов инерции может быть вызвано различными факторами. Например, если в пространственной стержневой системе у всех элементов определены только главные моменты инерции, но хотя бы один из узлов имеет координаты $x \neq 0$, $y \neq 0$, $z \neq 0$, то в соседних узлах получим все девять ненулевых моментов инерции, или «полный» тензор (4). В этом случае для отыскания главных моментов используем кубическое уравнение – уравнение собственных значений тензора инерции [6]:

$$\begin{vmatrix} J_{xx} - J^* & -J_{xy} & -J_{xz} \\ -J_{yx} & J_{yy} - J^* & -J_{yz} \\ -J_{zx} & -J_{zy} & J_{zz} - J^* \end{vmatrix} = 0, \qquad (6)$$

где J^* – один из трех искомых главных моментов инерции (корень уравнения).

Решая уравнение (6), находим величины J_1, J_2, J_3. Этот процесс также называется диагонализацией матрицы. Новый тензор, содержащий только главные моменты инерции, будет иметь вид:

$$J' = \begin{bmatrix} J_1 & 0 & 0 \\ 0 & J_2 & 0 \\ 0 & 0 & J_3 \end{bmatrix}, \qquad (7)$$

или в виде вектора:

$$J' = \{ J_1 \;\; J_2 \;\; J_3 \}. \qquad (8)$$

Характерно, что после выполненных преобразований главные оси инерции (сопряженные диаметры эллипсоида) и оси глобальной системы координат O, в которой рассматривается движение узла, не всегда совпадут по направлению. Для нахождения главных осей инерции воспользуемся системой алгебраических уравнений [6]:

$$\left.\begin{aligned} \left(J_{xx} - J^*\right)x - J_{xy}y - J_{xz}z = 0; \\ -J_{yx}x + \left(J_{yy} - J^*\right)y - J_{yz}z = 0; \\ -J_{zx}x - J_{zy}y + \left(J_{zz} - J^*\right)z = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

где смысл величины J^* остается таким же, как в (6).

Последовательно подставляя в (9) вместо J^* найденные ранее значения главных моментов инерции J_1, J_2, J_3 получим три группы координат x, y, z точек, лежащих на главных осях инерции. Косинусы углов между этими векторами и осями глобальной системы координат составляют унитарную изометричную матрицу поворота $R_{e,\,i}$. Поворачивая с её помощью вектора (8), имеем:

$$J^{(\mathrm{o})} = R_{e,\,i}^T \, J' = \left\{ J_1^{(\mathrm{o})} \;\; J_2^{(\mathrm{o})} \;\; J_3^{(\mathrm{o})} \right\}, \qquad (10)$$

где T – знак транспонирования матрицы.

Решая каждое из уравнений (3) относительно вектора углового ускорения, с учетом (10) имеем:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\omega}_1 = \varepsilon_1; \quad \varepsilon_1 = \left[M_1 - \left(J_3^{(\mathrm{o})} - J_2^{(\mathrm{o})}\right)\omega_2\omega_3 \right] / J_1^{(\mathrm{o})}; \\ \dot{\omega}_2 = \varepsilon_2; \quad \varepsilon_2 = \left[M_2 - \left(J_1^{(\mathrm{o})} - J_3^{(\mathrm{o})}\right)\omega_3\omega_1 \right] / J_2^{(\mathrm{o})}; \\ \dot{\omega}_3 = \varepsilon_3; \quad \varepsilon_3 = \left[M_3 - \left(J_2^{(\mathrm{o})} - J_1^{(\mathrm{o})}\right)\omega_1\omega_2 \right] / J_3^{(\mathrm{o})}. \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

В заключение следует отметить, что при моделировании динамической работы пространственной стержневой системы без учета инерции вращения узлов теряются важные нелинейные составляющие их движения. В дифференциальных уравнениях Эйлера установлена взаимосвязь между угловой скоростью и угловым ускорением узла в проекциях на главные оси инерции, что характеризует определенную связь между вертикальными, горизонтальными и крутильными колебаниями конструкции, а также распределение энергии в системе. Данный алгоритм имеет блочную структуру, адаптирован для работы с матрицами и реализован в программном комплексе Belinda [11]. В дальнейших исследованиях с помощью уравнений Эйлера планируется оценить влияние инерции вращения на пространственную динамику пролетных строений мостов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Численные методы в механике [Текст] / В. А. Баженов [и др.] – Одесса: Стандартъ, 2005. – 563 с.
2. Андрєєв, Ю. М. Розробка аналітичних комп'ютерних методів аналізу та синтезу динаміки машин [Текст] : автореф. дис. … докт. техн. наук: спец. 05.02.09 «Динаміка та міцність машин» / Ю. М. Андрєєв. – Х., 2009. - 40 с.
3. Распопов, О. С. Автоматні та топологічні методи динамічного аналізу просторових стержневих систем [Текст] : автореф. дис. … докт. техн. наук: спец. 05.23.17 «Будівельна механіка» / О. С. Распопов. – Д., 2009. - 36 с.
4. Филиппов, А. П. Колебания деформируемых систем [Текст] / А. П. Филиппов. – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
5. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств [Текст] / В. Ф. Ушкалов [и др.]; АН УССР. Ин-т техн. механики. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
6. Никитин, Н. Н. Курс теоретической механіки [Текст] : учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов / Н. Н. Никитин. - М.: Высш. шк., 1990. - 607 с.
7. Распопов, А. С. Воздействие подвижных нагрузок на балочный мост, моделируемый системой дискретных элементов [Текст] / А. С. Распопов, В. Е. Артемов, С. П. Русу // Стр-во, материаловед., машиностр.: Сб. науч. тр. Приднепр. гос. акад. стр-ва и арх-ры. - 2008. - Вып. 47. - С. 493-501.
8. Лурье, А. И. Аналитическая механика [Текст] / А. И. Лурье. - М.: Физматлит, 1961. - 824 с.
9. Циглер, Ф. Механика твердых тел и жидкостей [Текст] / Ф. Циглер [пер. с англ.]. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. - 912 с.
10. Распопов, А. С. Моделирование колебаний балочных железнодорожных мостов в среде объектно-ориентированного программирования Delphi [Текст] / А. С. Распопов, В. Е. Артемов, С. П. Русу // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2010. - Вип. 33. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 217-222.
11. Распопов, А. С. Особенности компьютерного моделирования динамической нагруженности конструкций железнодорожных мостов [Текст] / А. С. Распопов, В. Е. Артемов, С. П. Русу // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Х., 2010. - Вып. 114. - С. 123-132.

Поступила в редколлегию 11.05.2010.
Принята к печати 20.05.2010.

УДК 004.925.84

П. В. БЕЗДІТКО, А. В. КРАСНЮК, А. Д. МАЛИЙ, Н. П. БОЧАРОВА (ДІІТ)

КОМП'ЮТЕРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ПРАВИЛЬНИХ МНОГОГРАННИКІВ (ТІЛ ПЛАТОНА) В СИСТЕМІ AutoCAD. ТЕТРАЕДР

В статті викладено технології перетворення правильного многогранника (тетраедра) в напівправильний, зірчасті та неправильні многогранники методами комп'ютерної графіки. Автори дійшли висновку, що такі перетворення твердотільних моделей правильних многогранників найдоцільніші з відомих у нарисній геометрії та інженерній графіці.

В статье изложены технологии преобразования правильного многогранника (тетраэдра) в полуправильный, звёздчатые и неправильные многогранники методами компьютерной графики. Авторы пришли к выводу, что такие преобразования твёрдотельных моделей правильных многогранников наиболее целесообразны из известных в начертательной геометрии и инженерной графике.

In the article the technologies of transformation of a perfect polyhedron (tetrahedron) into semi-perfect one, star-like and imperfect polyhedrons by the methods of computer graphics are presented. The authors have concluded that such transformations of solid models of зукаусе polyhedrons are most expedient from the known ones in descriptive geometry and engineering graphics.

Вступ

В попередній нашій роботі [1] ми запропонували досить прості комп'ютерні технології побудови твердотільних моделей правильних многогранників в системі AutoCAD.

Тепер ми хочемо продовжити цю тему, але вже в плані перетворення тіл Платона в тіла Архімеда (напівправильні многогранники) та в зірчасті форми і з'єднання правильних многогранників.

Оскільки тетраедр є першим в сім'ї тіл Платона, то з нього і почнемо.

1. Зрізаний тетраедр.

В нарисній геометрії зрізаним називають тіло, у якого зрізана верхівка, тобто всі його частини разом з вершиною [2]. Платонові тіла можна зрізати таким чином, що і одержані нові грані, і залишки старих будуть правильними многокутниками. Якщо ж у зрізаного многогранника всі многогранні кути рівні, а всі грані – правильні многокутники, то його відносять до *архімедових тіл* (відкриття яких приписують Архімеду [2]), або *напівправильних* многогранників.

Що ж стосується тетраедра, то його можна зрізати так, що чотири його трикутні грані перетворяться в чотири рівносторонні шестикутники і до них ще додадуться чотири правильні трикутні грані [2].

Для цього нам треба зрізати верхівки тетраедра на одну третину його висоти, але так, щоб січні площини були перпендикулярними до бісектрис тригранних кутів при його вершинах. При цьому можна скористатися чотирма окремими січними площинами, але ми вважаємо, що доцільніше застосувати ті ж технології, які ми запропонували в роботі [1].

Отже, спочатку побудуємо тетраедр, задавшись довжиною його ребра a. Тоді радіус кола, описаного навколо його основи буде дорівнювати [1]:

$$R = 0{,}5773\ a.$$

Висота тетраедра (траєкторія видавлювання)

$$h_т = 0{,}8167\ a,$$

а кут звуження

$$\beta = 19{,}42^\circ.$$

Технологію його побудови наведено у вищезгаданій роботі.

Далі побудуємо зрізану правильну шестигранну піраміду, перевернуту зрізом вниз так, щоб менша її основа вписувалась в основу тетраедра, а висота дорівнювала 2/3 висоти тетраедра. Оскільки ми зрізуємо верхівки тетраедра на третину, то сторона шестикутника, вписаного в основу тетраедра, також буде дорівнювати 1/3 ребра тетраедра. Відповідно радіус кола, описаного навколо шестикутника, буде дорівнювати довжині його сторони (рис. 1). Після цього, за допомогою команди «Видавити» (Extrude) з панелі інструментів «Тіла», будуємо вищезгадану піраміду.

© Бездітко П. В., Краснюк А. В., Малий А. Д., Бочарова Н. П., 2010

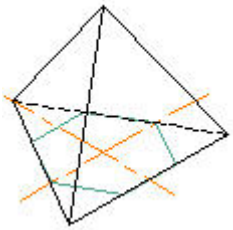


Рис. 1

Оскільки каркасна модель одержаної фігури досить невиразна, то розфарбуємо її за Гуро (рис. 2).

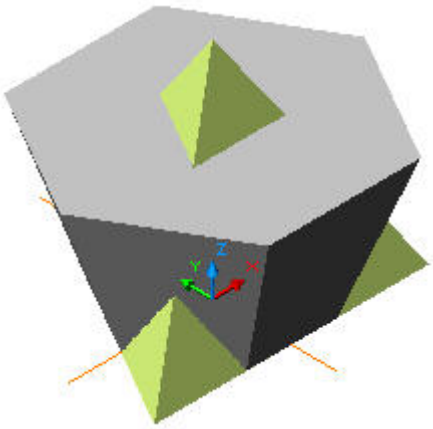


Рис. 2

Далі, скориставшись командою «Переріз» (Intersect) з панелі інструментів «Редагування тіл», одержуємо бажану модель зрізаного тетраедра. Її ізометричне зображення не дуже виразне (рис. 3*а*), тож, за бажанням, її можна за допомогою команди «3D орбіта» повернути на будь-який кут (рис. 3*б*).

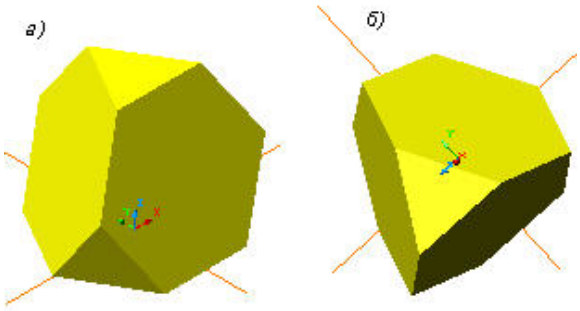


Рис. 3

2. Бітетраедр (біпіраміда).

Біпірамідою [2] називають многогранник, утворений з двох *n*-гранних пірамід, які складені рівними основами та знаходяться по різні боки від спільної основи. Це можуть бути будь-які піраміди, правильні чи неправильні. Але, оскільки мова йде про правильний тетраедр, ми вважаємо що біпіраміду, утворену з двох тетраедрів, доцільно назвати бітетраедром. Технологія його побудови дуже проста. Як і в попередньому випадку, спочатку будуємо твердотільну модель тетраедра, а потім за допомогою команди «3М дзеркало» (3D Mirror) випадного меню «Редагування» віддзеркалюємо його відносно площини *XY* (рис. 4).

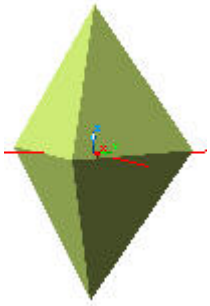


Рис. 4

Фактично ми одержали шестигранник, всі грані якого є правильними рівносторонніми трикутниками. Але його ні правильним, ні напівправильним назвати не можна, бо просторові кути при його вершинах різні. Тож його можна назвати хіба що неправильним гексаедром. Але поняття гексаедр, як правило, асоціюється з правильним шестигранником – кубом. Тому ми вважаємо за доцільне іменувати його бітетраедром.

Між іншим, якщо нижній тетраедр перемістити вгору на відстань, рівну його висоті, а потім за допомогою команди «Переріз» з панелі інструментів «Редагування» здійснити взаємний переріз цих тетраедрів, то знову одержимо модель бітетраедра, але висота його буде вдвічі меншою від висоти попереднього, тобто дорівнюватиме висоті тетраедра.

Мабуть через те, що фігура цього многогранника не дуже приваблива, він практично не зустрічається в архітектурі.

3. Зірчастий тетраедр.

Зірчастий тетраедр ми одержимо, якщо на кожній його грані побудуємо такі ж самі тетраедри. Така модель виглядає дещо привабливіше, але згадки про неї в літературі ми поки що не зустрічали

Для спрощення побудови цього многогранника ми скористаємося моделлю бітетраедра, оскільки там ми вже побудували один тетраедр на основі першого. Тепер, скориставшись тим, що тетраедри поки що не об’єднані між собою в єдине тіло, віддзеркалимо перший тетраедр відносно однієї з його бічних граней, наприклад відносно грані, основа якої перпендикулярна до осі *XY*, а потім за допомогою команди «3М ма-

сив» випадного меню «Редагування» розмножимо його як масив навколо осі *Z*. В результаті маємо зірчастий тетраедр (рис. 5).

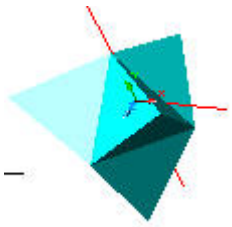


Рис. 5

Така модель вже привабливіша за попередню, але в такому вигляді в архітектурі та техніці практично не зустрічається. Тож спробуємо скомбінувати її зі зрізаним тетраедром, про який мова йшла в першому пункті цієї статті. Використаємо його як підставку до цього многогранника (рис. 6).

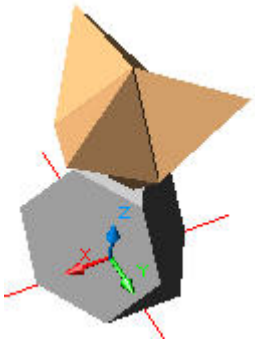


Рис. 6

Це вже більш цікава конфігурація і, можливо, надихне архітекторів на її застосування.

4. Зірчастий бітетраедр.

Якщо ми вже побудували зірчастий тетраедр, то перетворити його в зірчастий бітетраедр дуже просто. Для цього достатньо три тетраедри, побудовані на бічних гранях основного, віддзеркалити відносно площини *XY* і будемо мати бажаний результат (рис. 7).

Цей зірчастий многогранник цікавіший за попередній, але його опису в літературі ми також поки що не зустрічали.

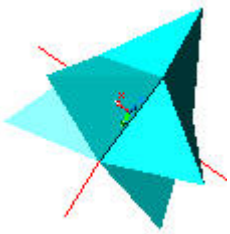


Рис. 7

5. Зірчастий октаедр (stella octangula Кеплера).

Зірчастий октаедр відкрив у 1619 році Й. Кеплер [2]. Він назвав його *stella octangula,* тобто восьмикутна зірка. Й. Кеплер виходив з того, що вісім площин – продовження граней октаедра – відділяють від простору нові частини, «відсіки», зовнішні по відношенню до октаедра, які є нічим іншим, як малими тетраедрами, основи яких співпадають із гранями октаедра. М. Венніджер [2], досліджуючи многогранники, дійшов висновку, що цей многогранник не є єдиним тілом, це поєднання двох тетраедрів, які взаємно перерізаються. Центри цих тетраедрів співпадають із центром вихідного октаедра, причому ця точка є центром симетрії всього тіла.

Тож, спираючись на висновки Венніджера, побудуємо зірчастий октаедр за допомогою двох тетраедрів. Для цього спочатку будуємо бітетраедр так, як це ми описали у п. 2 даної роботи (рис. 4). Потім, не об'єднуючи тетраедри в єдине тіло, повернемо нижній навколо осі *Z* на 60 або 180 градусів (щоб вершини основ тетраедрів зайняли протилежне положення). Далі перемістимо нижній тетраедр вгору на половину його висоти, тобто так, щоб центр його основи розташувався в точці з координатами (0; 0; 0,40835*a*). От і все, модель готова (рис. 8).

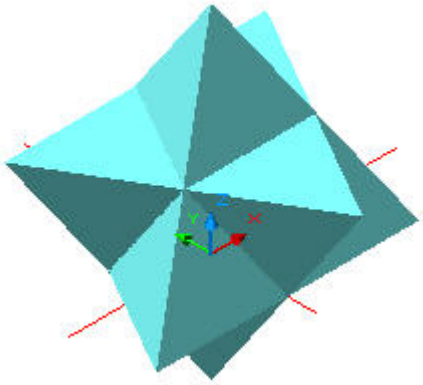


Рис. 8

А далі – цікавий факт. Якщо ми скористаємося командою «Переріз» (Intersect) із панелі інструментів «Редагування тіл», то в результаті одержимо звичайнісінький правильний октаедр. Правда, він лежатиме на бічній грані (рис. 9*а*). Для більшої певності повернемо його так, щоб вісь зайняла звичне вертикальне положення (рис. 9*б*).

На нашу думку, цей результат можна вважати експериментальним підтвердженням геніальної далекоглядності Й. Кеплера, який визначив цей зірчастий многогранник октаедром, та

правильності висновку М. Венніджера про те, що він є результатом взаємного перерізу двох тетраедрів.

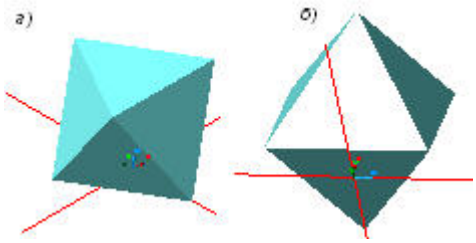


Рис. 9

Висновки

В результаті виконаної роботи можна зробити такі висновки:

- комп'ютерні технології побудови твердотільних многогранників, запропоновані нами в попередній роботі [1], доцільно застосовувати і для їх перетворень та модифікацій;
- завдяки цим технологіям вперше створено твердотільні моделі бітетраедра та зірчастих тетраедра, бітетраедра і октаедра;
- одержано експериментальне підтвердження ідеї Й. Кеплера про те, що в основі восьмикутної зірки лежить октаедр, та твердження М. Венніджера, що зірчатий октаедр є результатом взаємного перерізу двох тетраедрів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Просторове моделювання твердотільних многогранників (тіл Платона) в системі AutoCAD [Текст] / П. В. Бездітко [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 167-170.
2. Венниджер, М. Модели многогранников [Текст] / М. Венниджер. – М.: Мир, 1974. – С. 12-45.

Надійшла до редколегії 25.02.2010.
Прийнята до друку 03.03.2010.

УДК 625.12.044

В. Д. ПЕТРЕНКО, В. Т. ГУЗЧЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН, А. М. М. АЛХДУР (ДИИТ)

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АРМИРОВАНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЕМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

В роботі представлено результати аналізу параметрів експериментальних досліджень армування геотекстилем земляного полотна.

В работе представлены данные анализа параметров экспериментальных исследований армирования геотекстилем земляного полотна.

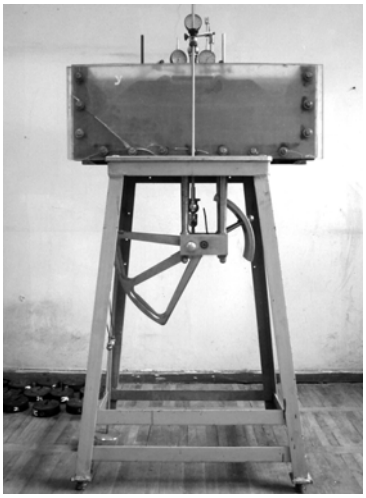
In the article the results of analysis of parameters of experimental research of the geotextile-reinforced ground bed are presented.

Теоретические исследования параметров армирования земляного полотна геосинтетическими материалами, включая наиболее распространённые геотекстили и геосетки, составляют значительный объем исследований в этой области [1 – 3]. Некоторые из результатов данных исследований уже могут считаться фундаментальными [1, 2], однако появление новых вариантов конструкций усиления земляного полотна геотекстилями и геосетками [4] требует проведения новых исследований, так как принципы создания усиленного земляного полотна несколько изменились.

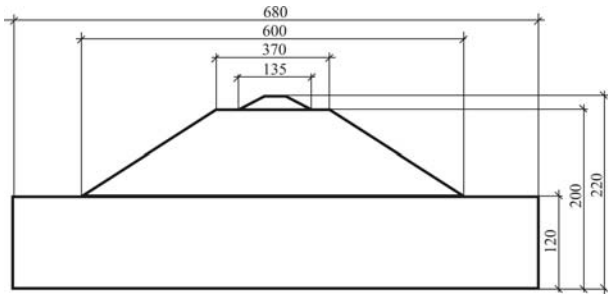
Многочисленные типы усиливающих элементов земляного полотна, которые базируются не на изменении физико-механических свойств грунта (слои усиления), а на внедрении арматуры в грунтовую матрицу, имеют разработанные конструкции, но не имеют детальных исследований их влияния на напряженно-деформированное состояние (НДС) земляного полотна [4, 5]. Соответственно, эти исследования должны выполняться для того, чтобы выяснить какой вариант усиления является наиболее оптимальным. Эта задача является актуальной с такой позиции еще и потому, что влияние усиливающих элементов не является однозначным и известным.

Следует отметить также, что некоторые теоретические положения расчёта оснований и земляного полотна не учитывают специфичных эффектов совместного деформирования системы «грунтовая матрица – арматура», таких как расслоение, повышенное трещинообразование и выдёргивание слоя из грунта. Важным является также и то, что большинство теоретических и экспериментальных работ выполнено для геотекстильных материалов, которые на данный момент не применяются.

Поэтому целью данной работы является проведение экспериментальных исследований и анализ результатов полученных параметров НДС армированной геотекстилем модели земляного полотна. Для этого было проведено несколько серий экспериментальных исследований в плоском лотке (рис. 1, *а*) модели в масштабе 1:20 (рис. 1, *б*).



а)



б)

Рис. 1. Общий вид установки (*а*) и основные размеры модели (*б*)

© Петренко В. Д., Гузченко В. Т., Тютькин А. Л., Алхдур А. М. М., 2010

Было проведено несколько серий испытаний моделей, с выяснением особенностей их деформирования в зависимости от характера армирования (рис. 2).

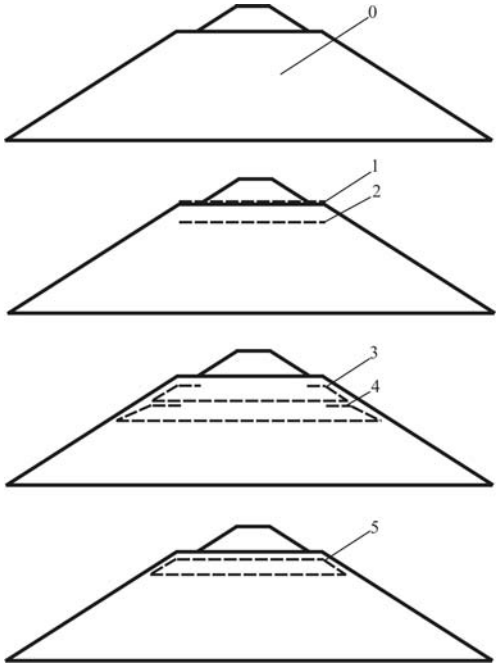


Рис. 2. Варианты армирования модели геотекстильными материалами:
вариант 0 – неармированная модель; варианты 1 и 2 – модели, армированные одним полотном геотекстиля; вариант 3– модель, армированная одним полотном геотекстиля с загибами; вариант 4 – модель, армированная двумя полотнами геотекстиля с загибами; вариант 5 – модель, армированная оболочкой из геотекстиля

Основная модель земляного полотна была создана из суглинка путём послойного уплотнения с внедрением в грунтовую матрицу армирующих элементов в виде полотен геотекстиля. В верхней части модели формировалась балластная призма из мелкоизмельченного щебня. Плотность, влажность и деформационные характеристики моделей в различных сериях испытаний сохранялись идентичными, что дало возможность сравнения НДС моделей различных вариантов армирования.

Загружение моделей производилось рычажной системой с плечом рычага 1:10 до тех пор, пока не происходило их разрушение. Нагрузка передавалась на штамп площадью 155,3 см^2. В процессе загружения моделей контролировался уровень как абсолютных перемещений с помощью индикаторов часового типа с точностью измерений 0,01 мм, так и относительных деформаций, которые вычислялись путём деления перемещений к первоначальной высоте земляного полотна модели (200 мм).

Характерным деформированием неармированных моделей (Вариант 0) является случай создания под штампом ядра сжатия, что видно по искривлению сетки 2×2 см, начерченной на передней стороне модели (рис. 3).

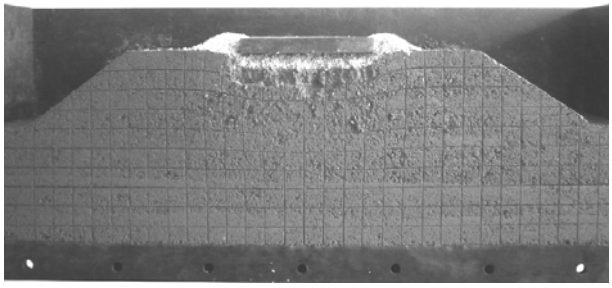


Рис. 3. Вид модели (Вариант 0) после эксперимента

Армирование модели по Варианту 1 несколько улучшило картину деформирования (рис. 4), однако, в процессе сжатия грунтовой матрицы, полотно геотекстиля значительно изменило свою форму, отслоившись от основной площадки и потеряв форму в результате критической деформации, что свидетельствует о неудачном варианте размещения армирующего элемента (см. деталь рис. 4)

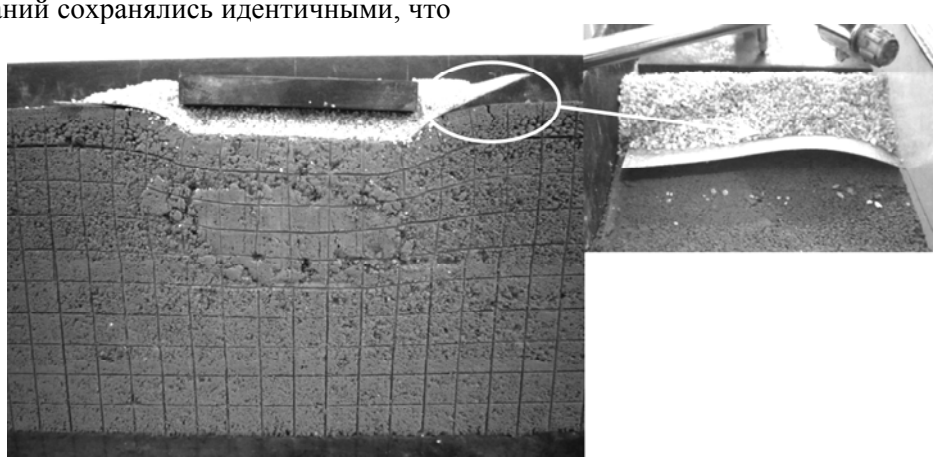


Рис. 4. Вид модели (Вариант 1) после эксперимента
(белым эллипсом показана зона расслоения матрицы и арматуры)

Прежде чем перейти к анализу числовых результатов, следует отметить качественные особенности деформирования моделей различных вариантов армирования, причём некоторые эти особенности хоть и отмечаются в теоретических работах, однако не имеют ни какой-либо классификации, ни определённых параметров возникновения. Так в модели Варианта 2, который является классическим вариантом расположения слоя арматуры в виде геотекстиля в результате деформирования при значительных напряжениях, в окончаниях геотекстильного полотна образовались зоны расслоения матрицы и арматуры, обусловленные процессом выдёргивания (рис. 5). Протекание этого процесса отмечалось в процессе загружения модели после формирования ядра сжатия под штампом и развивалось до разрушения.

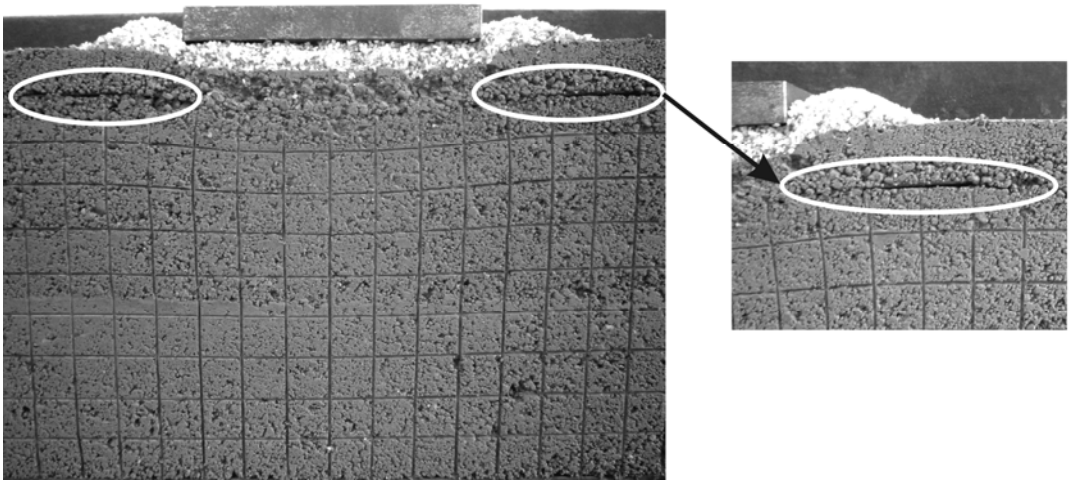


Рис. 5. Вид модели (Вариант 2) после эксперимента
(белыми эллипсами показаны зоны расслоения матрицы и арматуры)

Наиболее оптимально с позиции развития деформаций земляного полотна проявили себя Варианты 3 и 4, в которых армирование в виде геотекстильного полотна подкреплялось его анкеровкой в виде загибов его окончаний. Вариант 3 был исследован в двух вариациях – так Вариант 3*а* представлял собой незамкнутую оболочку толщиной 2 см, которая размещалась на глубине 2 см под основной площадкой земляного полотна модели; в Варианте 3*б* толщина незамкнутой оболочки составляла 4 см. В случае Варианта 4 (рис. 7) применялось армирование в виде двух незамкнутых оболочек толщиной 2 см, которые размещались под основной площадкой земляного полотна модели на глубине 2 и 4 см соответственно. Таким образом, в ходе экспериментов выяснилось действие геометрических параметров конструкции армирования на общие деформации модели.

Деформирование моделей Вариантов 3 и 4 можно характеризовать как однородное, так как никаких критических деформаций в виде расслаивания и выдёргивания арматуры не выявлено, поэтому армирование в соответствии с такими вариантами является наиболее оптимальным, т.к. внутри незамкнутой оболочки образуется зона переуплотнённого грунта, которая воспринимает большую часть деформаций ядра сжатия, а загибы не позволяют выдернуться арматуре (рис. 6, 7).

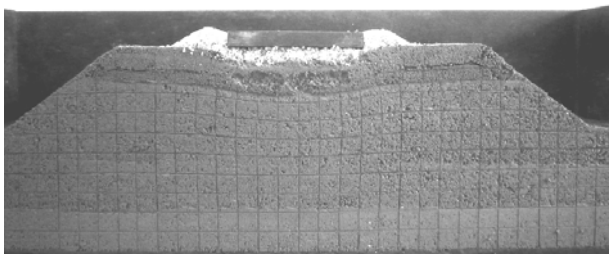


Рис. 6. Вид модели (Вариант 3) после эксперимента

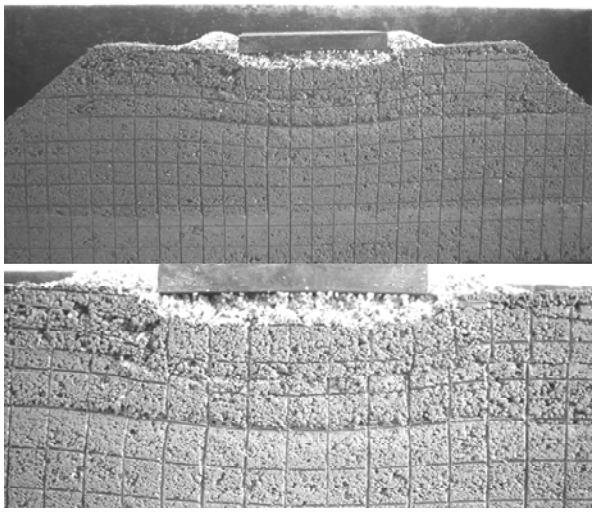


Рис. 7. Вид модели (Вариант 4) после эксперимента

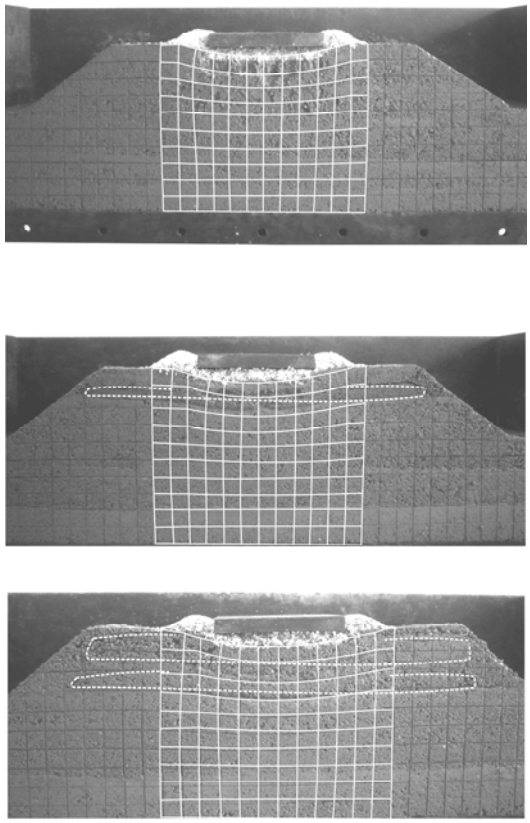


Рис. 8. Характер деформирования Вариантов 1, 3 и 4

Следует отметить, что характер деформирования Вариантов 1, 3 и 4 (рис. 8) подобен, что видно из нанесенной на фотографии масштабной сетки, то есть равномерное деформирование неармированной модели сохраняется в Вариантах 3 и 4 качественно, улучшаясь количественно, что будет показано далее.

Таким образом, такая конструкция является равнонагруженной и равномерно деформируемой. Замыкание оболочки, которое происходит после формирования геотекстильного полотна с нахлёстом в верхней части оболочки, характеризуемое в теоретических работах [1, 2], как оптимальное, в ходе экспериментальных исследований таковым не определяется. Определение такого вида армирования (Вариант 5) при теоретических построениях как оптимального базируется на определении характера его деформирования. Так, теоретически, такая оболочка формирует внутри себя зону переуплотнённого грунта, а замкнутость контура является залогом отсутствия выдёргивания геотекстильного полотна из матрицы. Однако, деформирование такой системы при проведении лоткового эксперимента позволило определить некоторые эффекты, которые не учтены в теоретических исследованиях (рис. 9).

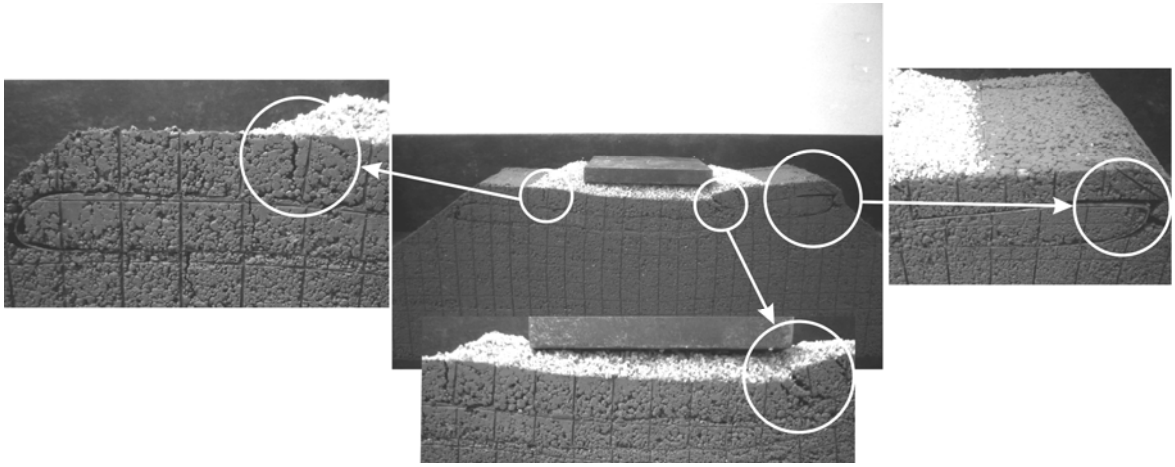


Рис. 9. Вид модели (Вариант 5) после эксперимента (в кружках показаны характерные деформации модели)

На окончаниях замкнутой оболочки, вследствие того, что податливость верхней её части весьма ограничена образованным нахлёстом, образовались расслоения (см. правую деталь рис. 9). Ситуация ухудшается ещё и оттого, что образованный краями геотекстильного полотнища нахлёст находится в ядре сжатия, в самой его активной зоне, и, таким образом, увеличившееся трение позволяет верхней части оболочки сокращаться значительней, чем нижней и деформации, вызванные поворотом окончания замкнутой оболочки приводят к расслоению арматуры и матрицы. Ещё одним отрицательным эффектом является наличие трещин в местах перенапряжения – на краю балластного слоя (см. левую деталь рис. 9) и под краем штампа (см. центральную деталь рис. 9). Появление таких трещин объясняется тем, что замкнутая оболочка, в отличие от разомкнутой, значительно переуплотняет зону активного деформирования и в ходе образовавшегося перенапряжения образуются трещины матрицы.

Как следует из анализа графической информации (рис. 10), количественно варианты армирования отличаются друг от друга значительно.

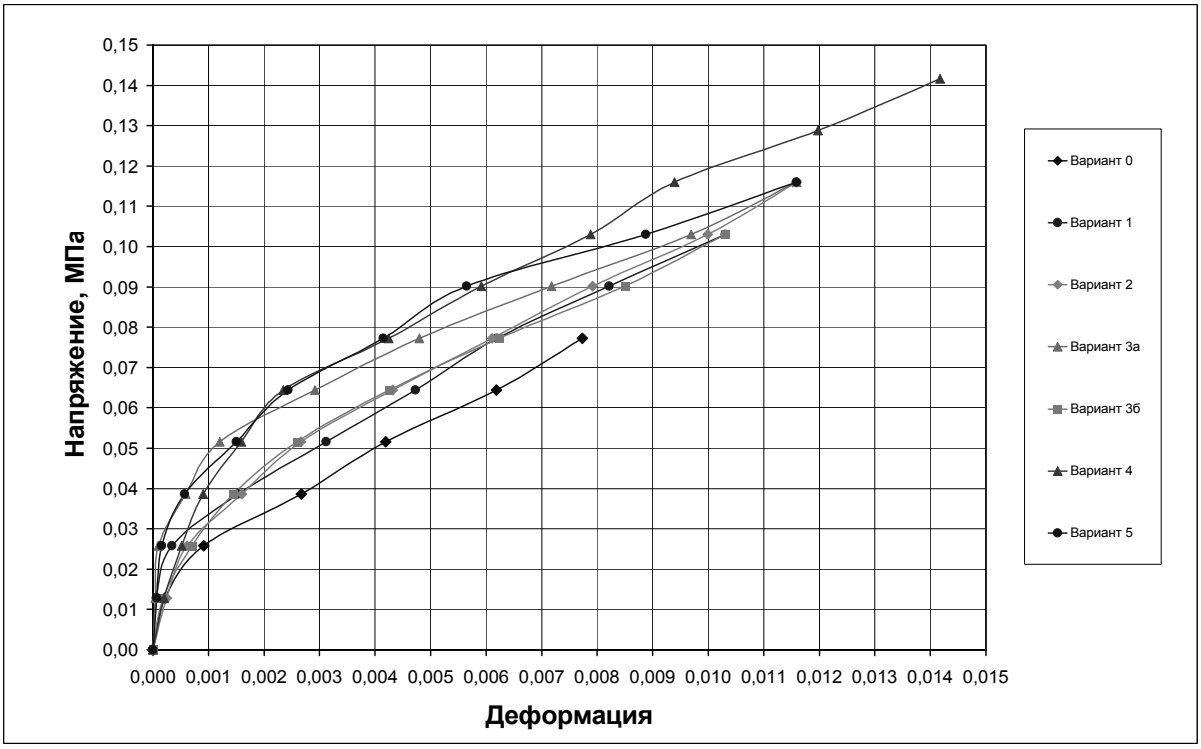


Рис. 10. График зависимости напряжений и деформаций для различных вариантов армирования

Несомненно, анализ графика напряжений и деформаций (рис. 10) свидетельствует о том, что все варианты армирования значительно (до 2 раз) увеличивают прочность модели (Вариант 0 – 0,076 МПа, Вариант 5 – 0,14 МПа), однако определённые в ходе экспериментальных исследований эффекты позволяют скорректировать полученную картину и сделать следующие выводы.

1. Армирование земляного полотна в виде отдельных полотнищ геотекстильных материалов увеличивают прочность матрицы до 1,5…1,6 раза, но возникновение зон расслоения на концах полотнища свидетельствуют о неоптимальности данных вариантов вне зависимости от их размещения по высоте матрицы.

2. Армирование замкнутой оболочкой также не может считаться оптимальным (увеличение прочности до 1,6 раза), так как деформирование земляного полотна при таком варианте армирования связано со значительным трещинообразованием.

3. Наиболее оптимальными вариантами армирования являются Варианты 3*а* и 4 (увеличение прочности от 1,6 до 2 раз), а наличие анкеровки геотекстильных полотнищ убирает нежелательные эффекты деформирования в виде активного трещинообразования и расслоения матрицы и арматуры.

4. Характер деформирования Вариантов 3*а*, 3*б* и 4 качественно совпадает с характером деформирования неармированной модели (Вариант 0), значительно уменьшаясь количественно.

Проведя данные экспериментальные исследования и получив важную информацию о НДС моделей с различными вариантами армирования, возможно её развитие, которое заключается в экспериментальном исследовании моделей с армированием слоями усиления.

БИБЛІОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джоунс, К. Д. Сооружения из армированного грунта [Текст] / К. Д. Джоунс. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.
2. Тимофеева, Л. М. Армирование грунтов [Текст] / Л. М. Тимофеева. – Пермь: Изд-во Пермского политехн. ин-та, 1991. – 478 с.
3. Рубцов, И. В. Закрепление грунтов земляного полотна автомобильных и железных дорог [Текст] / И. В. Рубцов, В. И. Митраков, О. И. Рубцов. – М.: АСВ, 2007. – 184 с.
4. ЦП-0204 Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії (ЦЮ 25.12.2008 р., реєстр. номер ЦП-0204) [Текст] / В. Д. Петренко [та ін.] – К.: Укрзалізниця. Головне управління колійного господарства, 2009. – 44 с.
5. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії. ЦП/0084. [Текст]. – К., 2002. – 156 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2010.
Принята к печати 26.05.2010.

УДК 624.071.3

А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ)

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ И АВТОМАТОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

На основі проведеного аналізу наукової літератури відмічається, що теореми й алгоритми, які використовуються в теоріях графів і автоматів, можуть служити основою для уточнення та розвитку загальноприйнятих теорій і методів в механіці стержневих систем.

На основе проведенного анализа научной литературы отмечается, что используемые в теориях графов и автоматов теоремы и алгоритмы могут служить основой для уточнения и развития общепринятых теорий и методов в механике стержневых систем.

On the basis of conducted analysis of scientific literature it is noted that the theorems and algorithms used in theories of graphs and automata can serve as a basis for the refinement and development of generally accepted theories and methods in the mechanics of beam systems.

Наряду с традиционными методами, позволяющими рассчитывать свободные и вынужденные колебания стержневых систем, все более широкое применение находят топологические методы, связанные с исследованиями структуры графов, представляющих такие системы [1 – 8]. Появилась возможность получить эффективное средство формализации современных инженерных задач, возникающих при изучении сложных механических систем, и разработки оптимальных вычислительных алгоритмов.

В настоящее время имеется множество публикаций, посвященных приложениям теории графов в различных областях исследований. Их детальный обзор и тематическая классификация приведены в работе J. Montbrun-DiFilippo и M. Delgado [9]. Следует также назвать монографии М. Свами, К. Тхуласираман [10], В. П. Сигорского [11], Р. Басакер, Т. Саати [12], В. А. Горбатова [13], в которых излагаются как основы теории графов, так и примеры их практического применения, в частности, в задачах сетевого планирования и управления, построения систем связи и передачи информации, выбора оптимальных маршрутов и потоков в сетях, проектировании механических систем, построении электрических цепей и других. Отметим работы, в которых применялись связные графы для изучения динамики транспортных средств [14 – 16], моделирования механических систем [5, 17, 18], стержневых конструкций [8, 19 – 22], динамики твердого тела [7, 23 – 25] и др. Кроме того, графы широко используются в различных разделах математики, теории конечных автоматов и теории групп [26 – 28].

В свою очередь, конечные автоматы, являясь составной частью теории систем, применяются в самых разнообразных областях науки и техники, таких как электротехника, механика, физиология, лингвистика, а также в задачах анализа и синтеза различных технических устройств, систем и процессов, разработке программ и алгоритмов [11, 29 – 31].

O. Shai, K. Preiss [17], подводя итоги различных исследований, на примере плоской фермы, возвратно-поступательного механизма и планетарной передачи показали, что дискретные математические представления теории графов, матроидов и линейного программирования содержат элементы и структуры, изоморфные многим техническим системам. В следующей работе [18] авторы переходят к логическому выводу, имеющему важное практическое применение. Представляя элементы различных технических систем в виде математического графа, несложно определить, насколько обоснована топология данного графа и, следовательно, топология данной технической системы. Проведение такого анализа до перехода к основному статическому расчету дает явные преимущества, сокращает время на проектирование и исключает вероятность ошибки. Кроме того, дальнейшие исследования N. Ta'aseh, O. Shai [8] открывают новые перспективы для использования известных теорем сопряженных структур в механике, которые могут быть выведены из принципа теоретической двойственности графов, представляющих реальные конструкции.

F. F. Tsai, J. E. Hang [14, 15] вводят понятие топологического анализа, под которым понимается исследование структуры графа, описы-

© Распопов А. С., 2010

вающего систему твердых тел. Разработанная методика позволяет приводить граф к структуре дерева и находить пути оптимизации вычислительных процедур для расчета кинематических и динамических характеристик механической системы. Для конкретных примеров многозвенного механизма и четырехколесного экипажа получены матрицы ориентации, скорости и ускорения точек тел.

Работа Е. Г. Кузовкова, А. А. Тырымова [32] посвящена изучению возможностей графового подхода к разработке статических расчетных схем повышенной точности, в частности, при построении дискретной модели упругой ортотропной среды. Вначале среда рассекается на элементы (подграфы), имеющие известное математическое описание. Затем с помощью матриц, гарантирующих структуру графа-модели и уравнений, описывающих отдельные элементы, получают уравнения системы в целом.

Практически из той же идеи исходит метод Г. Крона [33], получивший название «диакоптика». Проводя аналогию между электрическими сетями и системами самой различной физической природы, автор с помощью топологических моделей, матричного и тензорного исчисления получает общее решение по уравнениям отдельных ее частей.

В работе В. А. Баженова, В. Ф. Оробей и др. [4] для рассчитываемой методом граничных элементов стержневой системы составляется ориентированный граф, который практически не отличается от принятой расчетной схемы и содержит номера узлов с указанием начала и конца каждого стержня. Для составления разрешающих уравнений используются топологические матрицы, связанные с переносом конечных параметров и сохраняющие свою структуру в задачах статики, динамики и устойчивости стержневых систем.

На основе применения теории графов K. Watanuki, H. Ohtaki и др. [16] предложили аналитический метод, позволяющий с помощью специальных средств компьютерной алгебры автоматизировать расчет динамических характеристик многомассовых механических систем. На примере моделей с двумя и тремя степенями свободы вычерчивается граф системы, составляются уравнения движения и рассчитываются параметры колебаний. Аналогичный подход использовали в своих работах J. J. McPhee, S. M. Redmond, P. Shi [7, 34, 35] для представления топологии системы твердых тел и составления уравнений движения с помощью специальной компьютерной программы в символьной форме.

Ma Zheng-Dong, N. Kikuchi и др. [6] методы топологической оптимизации относят к одним из самых перспективных направлений оптимального проектирования конструкций, в частности, при отыскании показателей наилучшего распределения конструкционного материала. Предлагается также использовать способ топологической оптимизации в задачах расчета собственных значений однопролетных балок и плоских рам с различными граничными условиями. Развитие этот метод получил в работах G. Guo, N. Morita, T. Torii [21], Y. Dong, H. Huang [20], в которых используется генетический алгоритм для топологической оптимизации ферменной конструкции и определения оптимальных динамических характеристик плоского четырехзвенного механизма, а также в работе K. Shea, J. Cagan, S. J. Fenves [22], где рассматривается топологическая задача оптимального проектирования стержневых конструкций с целью наилучшей группировки структурных звеньев.

Одной из важнейших проблем, возникающих при расчете колебаний стержневых и балочных конструкций на ЭВМ, является формализация ее топологии и автоматизация формирования коэффициентов системы уравнений. И. П. Осолотков, Е. К. Резников [3] для формализации топологии таких конструкций предложили выделение типовых структурных элементов (звено, связь, включение) и присвоение им векторов признаков. Эффективная методика для идентификации изоморфных графов разработана Ch.-H. Hsu, K.-T. Lam [36], где также приведен простой алгоритм перемаркировки вершин графа и получения его топологического кода.

G. Bojadziev, L. Lilov [24] представили уравнения движения системы твердых тел, которые можно разделить на две группы: первая описывает топологию, т.е. совокупность связей между подсистемами, а вторая – физические процессы, происходящие в этих подсистемах. В монографии А. И. Телегина [37] разработана методика формального составления уравнений механики систем твердых тел с помощью таблиц структурных, кинематических и массоинерционных параметров. В результате использования теории графов K. P. Arczewski, F. A. Dul [23] получили матричное выражение для угловых скоростей отдельных твердых тел системы. Показано, что абсолютная скорость любого тела зависит от топологической струк-

туры системы, которую удобно представить в виде системного и размерного графов. Первый определяет взаимосвязь элементов системы, а второй – прослеживает возможные переходы к основанию от каждого тела.

T. F. Brown [25] для анализа относительно простых динамических систем использует методы прямого моделирования. Такой подход приводит к тому, что специалист создает модель в виде связного графа, который раскрывает сущность конструкции и содержание самой модели, тем самым предотвращает возможность совершения разного рода ошибок и ускоряет процесс благодаря получению набора легко решаемых алгебраических уравнений. Для расчета сложных систем автор предлагает методы непрямого моделирования, основанные на расчетах энергии с помощью уравнений Лагранжа и Гамильтона, которые также совместимы с основными связными графами. Как доказательство приведены многочисленные примеры в виде плоского двухзвенного механизма, системы с переменной регулируемой массой, гиросистемы и др.

Статьи D. Karnopp [5] и B. Maschke [38] развивают предшествовавшие работы, посвященные применению связных графов к исследованию энергетических потоков в физических системах. В частности, предлагается способ построения графа при нелинейных характеристиках конечных связей, который демонстрируется для механического дифференциала при помощи полей инерции и податливости конструкции с последующим аналитическим описанием движения системы уравнениями Лагранжа и Гамильтона.

Топологические аспекты механики стержневых систем, а также основные понятия теории графов использованы А. П. Филиным, О. Д. Тананайко и др. [19] в статических расчетах строительных конструкций с применением классических методов сил и перемещений. Графовая модель и функция Грина использовались в работе М. Абдульмаджида и В. А. Прядиева [39] при расчете колебаний упругой сетки из струн, сочлененных пружинами.

Приложение булевой алгебры, математической логики и некоторых понятий теории конечных автоматов к решению плоской задачи изгибных колебаний пластин и цепных стержневых систем можно найти в работах В. Л. Рвачева [40] и Г. Н. Эйхе [41]. В первом случае для описания сложных краевых условий в расчеты вводятся специальные R-функции, которые являются функциями обычных непрерывных аргументов и обладают рядом свойств функций алгебры Буля. Во втором – применяется метод прогонки в сочетании с ассоциированными матрицами, действия над которыми сведены к простым и наглядным операциям.

А. С. Галиуллин [42], анализируя основные задачи динамики механических систем, отметил, что они как по постановке, так и по методике их решения могут быть рассмотрены в виде прямой и обратной задач теории симметрии, предполагающей существование исходного и отображенного множеств. Особенно четкое представление составляющих симметрии наблюдается в системах динамической аналогии между процессами различного физического содержания.

Как известно [43, 44], формальное сходство дифференциальных уравнений, описывающих колебательное движение механических, электрических, акустических и других систем позволяет провести динамические аналогии между ними.

К примеру, уравнения Лагранжа второго рода для электрической системы (уравнения Лагранжа-Максвелла) по аналогии «сила-напряжение» выражают второй закон Кирхгофа, а по аналогии «сила-ток» – первый. Поэтому выводы, полученные при исследовании уравнений одной системы, могут быть распространены на другие динамически аналогичные системы.

В. Ю. Бобыльченко, П. М. Чеголин [45] использовали метод электромеханических аналогий для определения собственных изгибных колебаний балок с сосредоточенными регулярными массами. Электрическая схема замещения колеблющейся балки представлена в виде четырехполюсника, а динамические уравнения – в форме метода начальных параметров, содержащие в качестве неизвестных либо углы поворота и изгибающие моменты, либо линейные перемещения и перерезывающие силы. В статье С. В. Кудинова [46] показана возможность электрического моделирования связанных изгибно-крутильных и поперечно-продольных колебаний простой балки. Проведены аналогии между уравнениями в электромагнитных цепях и дифференциальными уравнениями, полученными для механических систем. В работе Г. Крона [33] упругая балка рассматривается как шестифазная линия передачи. При этом линейные и угловые смещения балки возникают под действием приложенных сил точно так же, как и электрические токи в трехфазной линии передачи под действием приложенных напряжений.

В свою очередь, анализ электрических цепей удобно проводить с помощью теории графов [10, 12]. В этом случае соотношения между токами и напряжениями на элементах цепи вытекают из законов Кирхгофа и отношения ортогональности между цикломатической матрицей и матрицей сечений соответствующего ориентированного графа. Излагаемые в работах Ю. Г. Минкина, К. Ю. Красносельского [1, 2] методы исследования колебаний некоторых механических систем обобщают результаты, полученные в теории электрических цепей. Стержень представляется в виде двухполюсника, соединенных дугой графа. Составление дифференциальных уравнений производится по методу интегральных координат. Однако следует отметить сложность формирования разрешающей системы уравнений даже для простых конструкций, а также большой порядок получаемых матриц, включающий до нескольких тысяч строк (столбцов).

Дальнейшее развитие этого направления предложено O. Shai [47] для решения задач проектирования с помощью дискретных математических моделей. Когда различные технические системы представляются в виде одного и того же графа, существует возможность обмена информацией между ними через каналы связи. Это свойство автор использует для преобразования задач по проектированию из одной области в другую с последующим поиском решения в этой вторичной области. Как только решение найдено, оно трансформируется обратно в первоначальную задачу и возвращается в исходную область.

Как известно [33], разработанная математиками фундаментальная наука о структурах (комбинаторная топология) послужила мощным толчком в развитии теории электрических цепей. В связи с этим можно ожидать, что использование основных понятий комбинаторной топологии для анализа и расчета механических систем также будет служить развитию существующих и созданию новых более мощных методов их исследования.

Имеющийся опыт позволяет предположить, что интеграция топологических и автоматных методов наиболее перспективна по отношению к методам решения краевых задач на базе граничных интегральных уравнений [48]. В числе работ, использующих модели стержневых систем с распределенными параметрами, все чаще применяется метод граничных элементов [4, 48 – 51], который превосходит многие методы по точности получаемых результатов, простоте алгоритма, экономичности использования ресурсов ЭВМ, времени подготовки данных и времени счета и т.д. Среди упомянутых обращают на себя внимание работы отечественных ученых В. А. Баженова, В. Ф. Оробея и др. [4, 51], в которых основные соотношения метода начальных параметров используются в задачах динамики стержневых систем на качественно более высоком уровне. Дальнейшее развитие МГЭ возможно за счет решения некоторых проблем, связанных с точным учетом сосредоточенных масс и сил инерции подвижных элементов, исключением из матриц нулевых ведущих элементов, раскрытием определителей высоких порядков, а также с детальной проработкой вопросов расчета совместных колебаний двух- и трехмерных стержневых систем, учетом различных факторов реальных конструкций и других.

По результатам краткого анализа научной литературы можно отметить, что многие стержневые конструкции могут быть представлены в виде графов и автоматов, однако лишь небольшое число публикаций посвящено использованию понятий комбинаторной топологии в решении инженерных задач, возникающих при изучении сложных механических систем. Тем не менее, ряд научных исследований показывает, что используемые в теориях графов и автоматов теоремы и алгоритмы могут служить основой для уточнения и развития общепринятых теорий и методов в механике стержневых систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красносельский, К. Ю. Новый алгоритм исследования динамики сложных пространственных конструкций [Текст] / К. Ю. Красносельский, Ю. Г. Минкин // Пробл. прочн. матер. и сооруж. на трансп. – 1989. – С. 49-59.
2. Минкин, Ю. Г. Топологические методы исследования колебаний некоторых механических систем [Текст] / Ю. Г. Минкин // 3-й Всесоюзн. съезд по теор. и прикл. механике: Сб. аннотац. докл. (Москва – 1968). – Изд-во АН СССР, 1968. – С. 16-20.
3. Осолотков, И. П. Матричный метод расчета динамических характеристик систем с упругими звеньями [Текст] / И. П. Осолотков, Е. К. Резников // Сб. науч. тр. Челяб. политехн. ин-та. – 1981. – № 254. – С. 74-78.
4. Строительная механика. Применение метода граничных элементов: [спец. курс] [Текст] / под ред. В. А. Баженова. – Одесса: Астропринт, 2001. – 288 с.
5. Karnopp, D. An approach to derivative causality in bond graph models of mechanical systems [Text] /

D. Karnopp // J. of the Franklin Institute. - 1992. – vol. 329, № 1. – P. 65-75.
6. Ma, Zh.-D. Topological optimization technique for free vibration problems [Text] / Zh.-D. Ma [et al.] // Trans. ASME J. Appl. Mech. – 1995. - vol. 62, № 1. – P. 200-207.
7. McPhee, J. J. On the use of linear graph-theory in multibody system dynamics [Text] / J. J. McPhee // Nonlinear Dynamics. – 1996. – vol. 9, № 1-2. – P. 73-90.
8. Ta'aseh, N. Graph theoretical duality perspective on conjugate structures and its applications [Text] / N. Ta'aseh, O. Shai // Eur. J. Mech. A. - 2005. – vol. 24, № 6. – P. 974-986.
9. Montbrun-Di Filippo, J. A survey of bond graphs: theory, applications and programs [Text] / J. Montbrun-Di Filippo, M. Delgado // J. of the Franklin Institute. – 1991. – vol. 328, № 5-6. – P. 565-606.
10. Свами, М. Графы, сети и алгоритмы [Текст] / М. Свами, К. Тхуласираман. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
11. Сигорский, В. П. Математический аппарат инженера [Текст] / В. П. Сигорский. – К.: Техника, 1975. – 768 с.
12. Басакер, Р. Конечные графы и сети [Текст] / Р. Басакер, Т. Саати. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. – 368 с.
13. Горбатов, В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика [Текст] / В. А. Горбатов. – М.: Наука, Физматлит, 2000. – 544 с.
14. Tsai, F.-F. Real-time multibody system dynamic simulation. P. I. A modified recursive formulation and topological analysis [Text] / F.-F. Tsai, E. J. Huag // Mech. Struct. and Mach. – 1991. – vol. 19, № 1. – P. 99-127.
15. Tsai, F.-F. Real-time multibody system dynamic simulation. P. II. A parallel algorithm and numerical results [Text] / F.-F. Tsai, E. J. Huag // Mech. Struct. and Mach. – 1991. – vol. 19, № 2. - P. 129-162.
16. Watanuki, K. Automation to mechanical vibration systems [Text] / K. Watanuki [et al.] // Nihon kikai gakkai ronbunshu. C. = Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C. – 1993. – vol. 59, № 562. – P. 1960-1965.
17. Shai, O. Graph theory representations of engineering systems and their embedded knowledge [Text] / O. Shai, K. Preiss // Artificial Intelligence in Engineering. – 1999. – № 13. – P. 273-285.
18. Shai, O. Isomorphic representations and Well-Formedness of engineering systems [Text] / O. Shai, K. Preiss // Engineering with computers. – 1999. – № 15. – P. 303-314.
19. Алгоритмы построения разрешающих уравнений механики стержневых систем [Текст] / под ред. А. П. Филина. – Л.: Стройиздат, 1983. – 232 с.
20. Dong, Y. The optimization of topology of the frame construction through the approximation of suspension points and the genetic algorithm [Text] / Y. Dong, H. Huang // Jisuan lixue xuebao = Chin. J. Comput. Mech. – 2004. – vol. 21, № 6. - P. 746-751.
21. Guo, G. Optimum dynamic design of planar linkage using genetic algorithms [Text] / G. Guo, N. Morita, T. Torii // JSME Int. J. C. – 2000. – vol. 43, № 2. – P. 372-377.
22. Shea, K. A shape annealing approach to optimal truss design with dynamic grouping of members [Text] / K. Shea, J. Cagan, S. J. Fenves // Trans. ASME. J. Mech. Des. [Trans. ASME. J. Mech., Transmiss., and Autom. Des.] – 1997. – vol. 119, № 3. – P. 388-394.
23. Arczewski, K. P. Determination of angular velocities within a multibody system by means of graphs [Text] / K. P. Arczewski, F. A. Dul // Z. angew. Math. Und Mech. – 1995. – vol. 75, Suppl. № 1. – P. 105-106.
24. Bojadziev, G. Dynamics of multicomponent systems based on the orthogonality principle [Text] / G. Bojadziev, L. Lilov // 1st Eur. Solid Mech. Conf. «EUROMECH» : Abstr. (München, 09-13 Sept. 1991). – 1991. – Sec. 1. – P. 33-34.
25. Brown, F. T. Hamiltonian and Lagrangian bond graphs [Text] / F. T. Brown // J. of the Franklin Institute. – 1991. – vol. 328, № 5-6. – P. 809-831.
26. Татт, У. Теория графов [Текст] / У. Татт. – М.: Мир, 1988. – 424 с.
27. Харари, Ф. Теория графов [Текст] / Ф. Харари. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.
28. Хопкрофт, Дж. Э. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений [Текст] / Дж. Э. Хопкрофт., Р. Мотвани, Дж. Д. Ульман. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. – 528 с.
29. Брауэр, В. В. Введение в теорию конечных автоматов [Текст] / В. В. Брауэр. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.
30. Гилл, А. Введение в теорию конечных автоматов [Текст] / А. Гилл. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
31. Кудрявцев, В. Б. Введение в теорию автоматов [Текст] / В. Б. Кудрявцев, С. В. Алешин, А. С. Подколзин. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 320 с.
32. Кузовков, Е. Г. Графовая модель упругой ортотропной среды [Текст] / Е. Г. Кузовков, А. А. Тырымов // 2-я Межресп. конф. «Мех. и технол. изделий из мет. и металлокерам. композиц. матер.» : Мат. конф. (Волгоград, 25.09-01.10.1995 г.). – 1996. – С. 95-101.
33. Крон, Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) [Текст] / Г. Крон. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
34. McPhee, J. J. Modeling multibody systems with indirect coordinates [Text] / J. J. McPhee, S. M. Redmond // Computer methods in app. mech. and eng. – 2006. – vol. 195, № 50-51. – P. 6942-6957.
35. Shi, P. Dynamics of flexible multibody systems using virtual work and linear graph theory [Text] / P. Shi, J. J. McPhee // Multibody System Dynamics. – 2000. – vol. 4, № 4. – P. 355-381.

36. Hsu, Ch.-H. Topological Code of Graphs [Text] / Ch.-H. Hsu, K.-T. Lam // J. of the Franklin Institute. – 1992. – № 329. – P. 99-109.
37. Телегин, А. И. Системы твердых тел. Математическое обеспечение решения задач механики и управления [Текст] / А. И. Телегин. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 202 с.
38. Maschke, B. Geometrical formulation of bond graph dynamics with application to mechanism [Text] / B. Maschke // J. of the Franklin Institute. – 1991. – vol. 328, № 5-6. – P. 723-740.
39. Абдульмаджид, М. О спектре разрывной задачи Дирихле на графе [Текст] / М. Абдульмаджид, В. Л. Прядиев // Воронеж. ун-т. – 1992. – 10 с. – Деп. в ВИНИТИ 27.07.92, № 2473-В92.
40. Рвачев, В. Л. Геометрические приложения алгебры логики [Текст] / В. Л. Рвачев. – К.: Техника, 1967. – 212 с.
41. Эйхе, Г. Н. Особенности структуры уравнений частот и форм установившихся колебаний рамных мостов и других плоских ортогональных стержневых систем [Текст] / Г. Н. Эйхе // Вопросы статики и динамики мостов: Межвуз. сб. науч. тр. – 1987. – С. 83-94.
42. Галиуллин, А. С. Симметрия и основные задачи динамики [Текст] / А. С. Галиуллин // Вестник Рос. ун-та дружбы народов. – 1999. – № 1. – С. 6-11.
43. Вибрации в технике : Справочник в 6 т. – Т. 1: Колебания линейных систем [Текст] / под ред. В. В. Болотина. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.
44. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний [Текст] / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – М.: Высш. шк., 1975. – 248 с.
45. Бобыльченко, В. Ю. Определение собственных колебаний балок с сосредоточенными регулярными массами методом электромеханических аналогий [Текст] / В. Ю. Бобыльченко, П. М. Чеголин // Рост. гос. акад. стр-ва. – 1996. – 12 с. – Деп. в ВИНИТИ 09.08.96, № 2652-В96.
46. Кудинов, С. В. Электрическое моделирование связанных колебаний стержневых конструкций [Текст] / С. В. Кудинов // III Междунар. науч.-практ. конф. «Моделирование. Теория, методы и средства»: Мат. конф. (Новочеркасск, 11 апр. 2003 г.) – ЮРГТУ, 2003. – Ч. 5. – С. 43-45.
47. Shai, O. Design through common graph representations [Text] / O. Shai // "Design Engineering Technical Conf." and "Computers and Information in Engineering Conf.": DETC'03 ASME 2003: Proc. (Chicago, Illinois, USA. Sept. 02-06, 2003). – 2003. – P. 1-10.
48. Бенерджи, П. Метод граничных элементов в прикладных науках [Текст] / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
49. Барановская, Л. В. Расчет балки непрямым методом граничных элементов [Текст] / Л. В. Барановская // Проблемы прочности и надежности строительных и машиностроительных конструкций: Межвуз. сб. науч. тр. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2005. – С. 63-67.
50. Давидчак, О. Р. Динамічний розрахунок перехресно-ребристої системи на основі дискретно-неперервної моделі [Текст] / О. Р. Давидчак, Р. М. Тацій // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – 2007. – Вип. 7. – С. 17-22.
51. Оробей, В. Ф. Расчет неразрезной балки на устойчивость и динамику численными методами [Текст] / В. Ф. Оробей, Н. Г. Сурьянинов, Д. В. Лазарева // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2005. – № 1. – С. 14-16.

Поступила в редколлегию 11.05.2010.
Принята к печати 20.05.2010.

УДК 624.071.3

О. С. РАСПОПОВ (ДІІТ)

БАГАТОВИМІРНІ МАТРИЦІ В ЗАДАЧАХ ДИНАМІКИ ПРОСТОРОВИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ

Розглядається динаміка просторових стержневих систем з використанням теорії графів і автоматів. Показано, що структурний склад багатовимірних моделей можна задавати за допомогою просторових матриць. Розроблено ефективний алгоритм розподілення системи на блоки та кодування станів кожної з підсистем.

Рассматривается динамика пространственных стержневых систем с использованием теории графов и автоматов. Показано, что структурный состав многомерных моделей можно задавать с помощью пространственных матриц. Разработан эффективный алгоритм разделения системы на блоки и кодирования состояний каждой из подсистем.

The dynamics of spatial beam systems using the theory of graphs and automats is considered. It is shown that the structural composition of multidimensional models can be set using the spatial matrices. An efficient algorithm for the separation of the system into blocks and encoding the states of each subsystem is developed.

Основні правила і співвідношення, прийняті в ході вивчення одновимірних систем [1], узагальнені на аналогічні дво- і тривимірні стержневі системи, які подані у вигляді пересічних балок або просторових рамних каркасів.

Для просторової системи із трьох ортогональних балок побудовані зв'язні графи GRL, GRT із вхідними параметрами, що відповідають згинально-поздовжнім, згинально-крутильним коливанням пересічних балок [2]. Зв'язки між залежними граничними параметрами у вузлі H зображені на рис. 1.

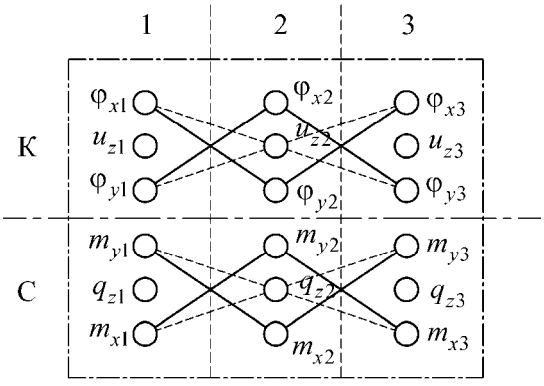


Рис. 1. Зв'язки у вузлі H графа GRT

Детальніше на рис. 2 показані зв'язки між параметрами двох будь-яких пересічних балок системи, що моделюються підграфом GT графа GRT. Кількість підграфів, а отже, і компонент графа GRT, одержаних у результаті розсічення зовнішніх зв'язків, дорівнює шести. Кожен з підграфів характеризує або згинальні, або крутильні коливання однієї з балок.

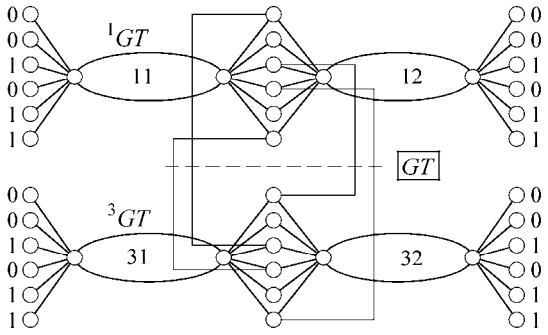


Рис. 2. Підграф системи GT

Показано, що якщо граф для одновимірних або двовимірних стержневих систем зображується на площині, то для просторових стержневих конструкцій двох вимірів недостатньо. Необхідно використовувати додаткові виміри з характерним набором змінних для граничних параметрів стержнів. Встановлено, що структурний склад таких моделей можна задавати за допомогою просторових матриць [3] на основі дослідження топологічних властивостей графа системи. Так, подача ще однієї вхідної послідовності довжиною l для автомата, що моделює коливання просторової стержневої системи, дозволяє виконати побудову тривимірної (кубічної) матриці $\Omega^z_{i_1 i_2 i_3}$ шостого порядку

$$\Omega^z_{i_1 i_2 i_3} = \left\| a_{i_1 i_2 i_3} \right\|_1^6, \ (i_1, i_2, i_3 = 1, 2, ..., 6), \qquad (1)$$

у якій усі шість перерізів орієнтації i_1 при фіксованому значенні індексу $i_1 = 1, \ 2, \ldots, \ 6$ будуть звичайними двовимірними матрицями

© Распопов О. С., 2010

6-го порядку $\Omega^z_{1i_2i_3}$, $\Omega^z_{2i_2i_3}$, …, $\Omega^z_{6i_2i_3}$ ($i_2, i_3 = 1$, 2, …, 6). Кожний переріз орієнтації асоційованої просторової матриці кодується точно так, як і матриця звичайної ділянки балки [1].

Користуючись двовимірними перерізами, кубічна матриця $\Omega^z_{i_1i_2i_3}$ подана у вигляді таблиці, у якій перерізи відокремлюються вертикальними лініями

$$\Omega^z_{i_1i_2i_3} = \left\| a_{1i_2i_3} \mid a_{2i_2i_3} \mid ... \mid a_{6i_2i_3} \right\| \begin{array}{l} \longrightarrow (i_1) \\ \downarrow (i_2) \end{array} \begin{array}{l} \\ \longrightarrow (i_3) \end{array}, \qquad (2)$$

де стрілки позначають напрямки зростання порядкових номерів індексів i_1, i_2, i_3.

Досліджуються сумісні коливання системи поздовжніх і поперечних пересічних ортогональних балок, розташованих в одній площині *xy* [4]. Попередньо розглядається структура частотного рівняння для універсальної стосовно загальної розрахункової схеми типової *j*-ої підсистеми з різною кількістю «входів-виходів», які характеризують стани крайніх і проміжних підсистем. Потім, використовуючи принцип ортогональності, складається рівняння для всієї системи. Так, для сумісних згинальних коливань системи пересічних балок у напрямку осі *z* рівняння частот має вигляд

$$V\left(G_{z1}\right)\prod_{j=2}^{m-2}\Phi_{zj}\tilde{V}\left(G_{zm-1}\right) = 0, \qquad (3)$$

де $V\left(G_{z1}\right) = \Omega^{z1}_{i_2 i_3}\prod_{i=2}^{n-2}\Omega^{zi}_{i_1 i_2 i_3}\Omega^{zn-1}_{i_1 i_3}$ – одновимірна матриця напрямку i_3 (матриця-рядок) із характеристиками стержнів першої $(j=1)$ підсистеми; $\Phi_{zj} = \Omega^{z1}_{i_2 i_3 i_4}\prod_{i=2}^{n-2}\Omega^{zi}_{i_1 i_2 i_3 i_4}\Omega^{zn-1}_{i_1 i_3 i_4}$ – двовимірна матриця шостого порядку, що характеризує стани проміжних підсистем ($j = 2$, 3, …, $m-2$); $\tilde{V}\left(G_{zm-1}\right) = \Omega^{z1}_{i_2 i_4}\prod_{i=2}^{n-2}\Omega^{zi}_{i_1 i_2 i_4}\Omega^{zn-1}_{i_1 i_4}$ – матриця-стовпець напрямку i_4 з характеристиками стержнів підсистеми $m-1$.

Наведено графіки-номограми зміни частотних параметрів, отримані для регулярної системи, що має однакові довжини прогонів і погонні маси, з різними співвідношеннями згинальних жорсткостей поперечних і поздовжніх балок, а також різними значеннями параметрів i/n та j/m (рис. 3). Відзначається, що, як і у випадку багатопрогонових нерозрізних балок, отримані спектри частот мають досить вузький діапазон і послідовні зони згущення.

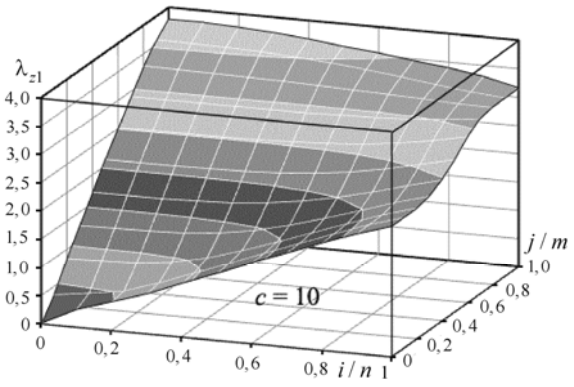


Рис. 3. Значення частотних параметрів λ_{z1} для регулярної системи балок

Для вирішення задачі кодування складної стержневої системи виконується її декомпозиція на більш прості конструктивні частини. Кожна конструктивна частина розділяється на ще дрібніші підсистеми, розміри яких визначаються можливостями кодування або наявністю вже готових для них рішень. У результаті отримано декілька рівнів *q*-вимірних підсистем, що створюють *q*-вимірні ланцюги, для декомпозиції й кодування станів яких використовуються каскадні алгоритми. Процедури кодування *k*-тої підсистеми будуються за принципом поетапного використання вхідних послідовностей, переданих від спряжуваних підсистем, що належать різним рівням. При цьому символами коду наступного рівня (ступеня) є символи коду попереднього рівня. Показано, що для підсистем одного рівня можливе використання паралельних процедур кодування. У результаті, переходячи від сукупності підсистем першого каскаду до останнього, отримуємо набір послідовних кодів, що характеризують стани всієї системи. Застосування такого алгоритму дозволяє використовувати існуючі дво- та одновимірні моделі також і для тривимірного моделювання. Сполучення кодованих підсистем і одержання топологічного рівняння системи виконується у зворотному порядку на основі принципу ортогональності.

Спочатку досліджуються можливі стани типової *k*-тої ($k = 1$, 2, …, $p-1$) підсистеми, яка одержана після розділення тривимірної стержневої системи взаємно ортогональними плоскими перерізами, що проходять через центри внутрішніх прогонів балок кожного з напрямків, при послідовній зміні кодів НП, КП стерж-

нів-стояків. Далі, з k-тої системи виділяється j_k-та підсистема, яка представляється графом GR_{yj} та ланцюжком зв'язаних підграфів GR_{y1}, GR_{y2}, …, GR_{yn-1}, що поділяються на компоненти ${}^1G_{y1}$, ${}^2G_{y1}$, ${}^3G_{\varphi 1}$, …, ${}^1G_{yn-1}$, ${}^2G_{yn-1}$, ${}^3G_{\varphi n-1}$ (рис. 4).

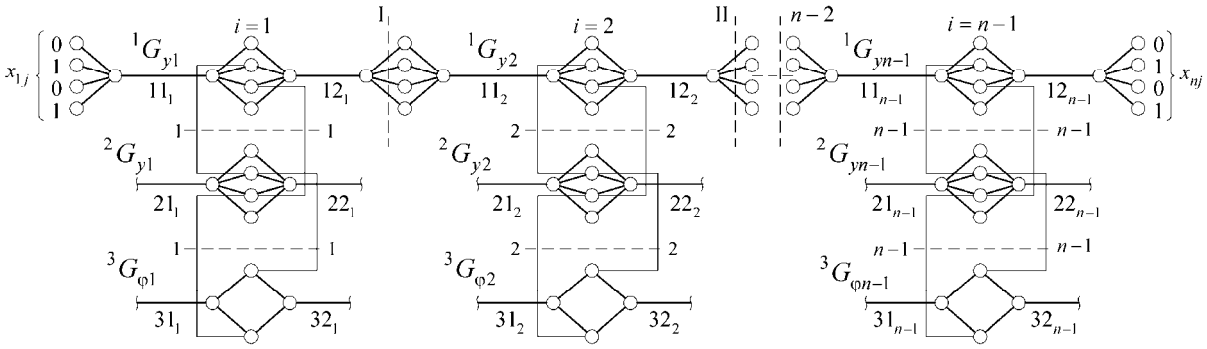


Рис. 4. Граф підсистеми GR_{yj}

Показано [4], що можливі стани системи при послідовній зміні одного з кодів стержня-стояка описуються п'ятивимірною матрицею, яка також подана у вигляді таблиці з виділенням чотиривимірних перерізів вертикальними лініями

$$\Omega^{\varphi yz}_{i_1 i_2 \ldots i_5} = \left\| a_{i_1 i_2 i_3 i_4 1} \middle| a_{i_1 i_2 i_3 i_4 2} \right\| \begin{array}{l} \longrightarrow (i_5) \\ \longrightarrow (i_2) \\ \longrightarrow (i_4) \\ \downarrow (i_3) \\ \downarrow (i_1) \end{array}, \qquad (4)$$

$$(i_1, \ldots, i_4 = 1, 2, \ldots, 6).$$

Структура двовимірних матриць, що утворені трикратним перерізом орієнтації ($i_1\, i_2\, i_5$) при фіксованих значеннях індексів $i_1\, i_2\, i_5$, наприклад при $i_1\, i_2\, i_5 = 1$, має вигляд:

$$\Omega^{\varphi yz}_{11 i_3 i_4 1} = \left\| M_{y11} M_{y12} \quad M'_{y11} M'_{y12} \right\| \times$$

$$\times \left\| \begin{matrix} V_{21}^{1100} \tilde{V}_{22}^{0011} & 0 \\ 0 & V_{21}'^{1100} \tilde{V}_{22}'^{0011} \end{matrix} \right\| \left\| \begin{matrix} w_{31} \tilde{w}_{32}^{01} \\ w'_{31} \tilde{w}'^{01}_{32} \end{matrix} \right\|, \qquad (5)$$

де нижні індекси вказують на тип коливань і номери стержнів, а верхні – коди рядків або стовпців, що відповідають асоційованим матрицям ділянки балки.

Варіювання кодів НП, КП стержня-стояка дозволило визначити ще одну координату i_6 r-вимірного простору ($r = 6$) та скласти r-вимірну матрицю $\Omega^{\varphi yz}_{i_1 i_2 \ldots i_6}$, чотиривимірні перерізи якої подані у вигляді

$$\Omega^{\varphi yz}_{i_1 i_2 i_3 i_4 \underline{i_5 i_6}} = \left\| \begin{array}{c|c} a_{i_1 i_2 i_3 i_4 11} & a_{i_1 i_2 i_3 i_4 12} \\ \hline a_{i_1 i_2 i_3 i_4 21} & a_{i_1 i_2 i_3 i_4 22} \end{array} \right\| \begin{array}{l} \longrightarrow (i_2) \\ \longrightarrow (i_4) \\ \longrightarrow (i_6) \\ \downarrow (i_5) \\ \downarrow (i_3) \\ \downarrow (i_1) \end{array} \qquad (6)$$

В [4] детально описана процедура побудови асоційованих матриць для крайніх ($k = 1,\ p-1$) та проміжних ($k = 2, 3, \ldots, p-2$) підсистем. В останньому випадку двомірна матриця шостого порядку складена таким чином:

$$F_{\varphi k} = V_k\left(G_{\varphi 1}\right) \prod_{j=2}^{m-2} \Phi_{k\varphi j}\, \tilde{V}_k\left(G_{\varphi m-1}\right), \qquad (7)$$

де $V_k\left(G_{\varphi 1}\right)$, $\tilde{V}_k\left(G_{\varphi m-1}\right)$ – кубічні матриці крайніх ділянок ($j = 1$, $j = m-1$) k-тої підсистеми, $\Phi_{k\varphi j}$ – чотиривимірна матриця проміжних ділянок ($j = 2, 3, \ldots, m-2$):

$$V_k\left(G_{\varphi 1}\right) = \Omega^{\varphi 1}_{i_2 i_3 i_5 i_6} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega^{\varphi i}_{i_1 i_2 i_3 i_5 i_6} \Omega^{\varphi n-1}_{i_1 i_3 i_5 i_6}; \qquad (8)$$

$$\Phi_{k\varphi j} = \Omega^{\varphi 1}_{i_2 \ldots i_6} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega^{\varphi i}_{i_1 \ldots i_6} \Omega^{\varphi n-1}_{i_1 i_3 \ldots i_6}; \qquad (9)$$

$$\tilde{V}_k\left(G_{\varphi m-1}\right) = \Omega^{\varphi 1}_{i_2 i_4 i_5 i_6} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega^{\varphi i}_{i_1 i_2 i_4 i_5 i_6} \Omega^{\varphi n-1}_{i_1 i_4 i_5 i_6}. \qquad (10)$$

Аналіз структури отриманих r-вимірних матриць дозволив встановити деякі закономірності їх утворення. Так, уведення в систему додаткової залежної змінної або групи залежних змінних, відповідних одному із входів автомата, що описує коливання складної стержневої системи, додає ще один вимір в евклідовий простір і в структуру матриці Ω. Відзначена обставина дозволила запропонувати пірамідальний принцип побудови просторових асоційованих матриць, які на відміну від простих конс-

трукцій стосуються не окремих стержнів, а окремих блоків або підблоків системи.

У загальному випадку підавтомат A, що характеризує стани проміжної (внутрішньої) підсистеми, яка має r входів, описується r-вимірною просторовою матрицею, порядок якої залежить від кількості можливих перестановок кодів відповідних вхідних змінних. Зменшення кількості «входів», наприклад для крайніх (граничних) підсистем, зменшує відповідно кількість координат r-вимірного простору. При цьому r-вимірну матрицю для всієї системи отримують у результаті послідовного добутку $(r+1)$- та $(r+2)$-вимірних матриць для підсистем, що її утворюють. У підсумку, на верхньому рівні «піраміди» стоїть скалярна величина, що відповідає деякій точці евклідового простору й визначається добутком векторів, які описують стан відособленої замкнутої підсистеми.

В остаточній формі рівняння частот для згинально-крутильних (згинально-поздовжніх) коливань тривимірної стержневої системи приводиться до вигляду:

$$V\left(GRT_1\right)\prod_{k=2}^{p-2}F_{\varphi k}\,\tilde{V}\left(GRT_{p-1}\right)=0\,. \qquad (11)$$

Отримані результати для матриці F, а також матриць перетворень достатньо просто узагальнюються і для унітарних просторів [5], коли елементами векторів та матриць є комплексні числа, що має місце у розрахунках дисипативних стержневих систем.

У підсумку, частотне (топологічне) рівняння просторової стержневої конструкції розглядається як послідовність одно-, дво-, три- і т. д. r-вимірних матриць, з'єднаних в одну систему. Показано можливість використання пірамідального принципу побудови таких рівнянь. На самому верхньому рівні результуюче рівняння складається з добутку одно- та двовимірних матриць системи.

Як приклад на рис. 5 наведено графік-номограма зміни частотного параметра λ_{z1} для згинальних коливань шарнірно-обпертих балок, що лежать у площині xy, та поздовжніх коливань ортогональних їм балок із защемленими кінцями, розташованих уздовж осі z. За інших рівних геометричних, інерційних та жорсткісних характеристик системи різною приймалася лише відносна жорсткість c' на розтягнення-стиснення балок, паралельних осі z, а також значення параметрів i/n та j/m.

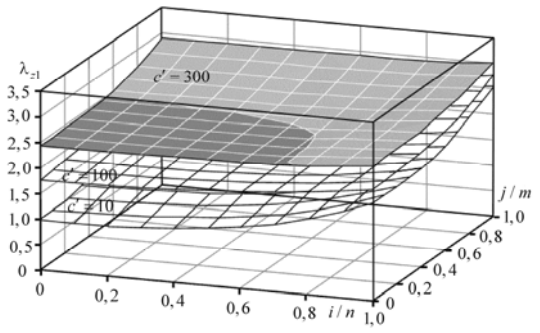


Рис. 5. Значення λ_{z1} для регулярної системи пересічних балок

Відзначається, що невеликі зміни в структурі системи або її параметрів можуть бути враховані без повторення процесу побудови загального рівняння системи. Досить побудувати асоційовані матриці для якої-небудь однієї характерної підсистеми, які будуть дійсні також для опису інших аналогічних підсистем. Показано, що без топологічних моделей і автоматів використання таких понять, як r-вимірні матриці в динамічних розрахунках стержневих систем стає значно складнішим.

За допомогою методу деформацій і скінченних тригонометричних рядів у роботі [6] отримано значні спрощення для регулярних конструкцій, які являють собою систему багатошарових пересічних балок з однаковими граничними умовами, зв'язаних між собою у вузлових точках лінійно-пружними безінерційними зв'язками. Наведені рівняння дозволяють урахувати інерцію обертання, деформації зсуву й статичні поздовжні сили, а також будь-яку кількість континуальних балок кожного з напрямків.

Таким чином, для декомпозиції дво- та тривимірних стержневих систем розроблені каскадний алгоритм розділення системи на блоки й відповідна методика каскадного кодування станів кожної з підсистем, що дозволило проводити процедуру побудови розв'язуючих рівнянь послідовно по частинах. Встановлено, що структурний склад багатовимірних моделей можна задавати за допомогою просторових матриць на основі дослідження топологічних властивостей графа системи. Розроблено пірамідальний принцип побудови асоційованих матриць. Показано, що кількість вимірів просторової матриці залежить від кількості входів автомата, що описує коливання стержневої системи, а її порядок – від кількості перестановок кодів відповідних вхідних змінних.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Распопов, А. С. Конечно-автоматное моделирование пространственных колебаний стержневых и балочных конструкций [Текст] / А. С. Распопов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 125-133.
2. Распопов, А. С. Применение топологических методов к расчету пространственных колебаний двух- и трехмерных стержневых систем [Текст] / А. С. Распопов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 117-124.
3. Соколов, Н. П. Пространственные матрицы и их приложения [Текст] / Н. П. Соколов. - М. : Физматгиз, 1960. – 300 с.
4. Распопов, А. С. Расчет многокомпонентных стержневых систем методом декомпозиции [Текст] / А. С. Распопов // Вісник. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2008. – Вип. 25. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 105-109.
5. Сигорский, В. П. Математический аппарат инженера [Текст] / В. П. Сигорский. – К.: Техника, 1975. – 768 с.
6. Распопов, А. С. Колебания многоярусных и многопролетных регулярных рам [Текст] / А. С. Распопов, О. О. Рубан, С. А. Чернышенко // Вісник. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 193-198.

Надійшла до редколегії 03.06.2010.
Прийнята до друку 14.06.2010.

УДК 624.21.012.45

Б. В. САВЧИНСКИЙ (ДИИТ)

УСИЛЕНИЕ АВТОДОРОЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

У статті розглядаються питання проектування і технології посилення залізобетонних мостів з використанням композиційних матеріалів

В статье рассматриваются вопросы проектирования и технологии усиления железобетонных мостов с применением композиционных материалов.

The article examines the issues of design and the technology of strengthening the reinforced concrete bridges made of composite materials.

Надежность и долговечность мостов определяется условиями их эксплуатации, своевременным и качественным проведением работ по диагностике и ремонту.

Выполнение диагностики необходимо для определения реальных геометрических параметров конструкции, фактических свойств её материалов и их распределение по сечению. Диагностика железобетонных мостов позволяет не только выявить степень их износа, но и определить причины этого явления.

При диагностике осматриваются конструкции, не имеющие повреждений, но требующие усиления в связи с увеличивающимися в результате реконструкции сооружений расчетными эксплуатационными нагрузками или из-за изменения схем работы конструктивных элементов зданий и сооружений.

При усилении конструкций композиционными материалами её диагностика и анализ напряженно-деформированного состояния играют ключевую роль при принятии решения об усилении. В ходе диагностики определяется характер повреждений конструкций, фактическая прочность бетона. Усилению подлежат железобетонные конструкции, поврежденные в ходе эксплуатации, (разрушение защитного слоя, коррозия арматуры и бетона, наличие трещин, сверхнормативных прогибов). Эти конструкции усиливаются с целью восстановления их эксплуатационных свойств и повышения долговечности. Обязательным условием усиления железобетонных пролетных строений мостов является фактическая прочность бетона на сжатие, которая должна быть не менее 15 МПа. Это ограничение не распространяется на усиление сжатых и внецентренно сжатых элементов горизонтальными обоймами, когда важна только механическая связь обоймы с конструкцией.

При проектировании усиления железобетонных конструкций с использованием фиброармированного пластика (ФАП) для внешнего армирования используется метод расчёта по предельным состояниям.

Система усиления на основе ФАП предназначена на восприятие растягивающих усилий с учётом совместимости деформаций внешней арматуры и бетона конструкций.

Усилия в сжатой зоне в предельном состоянии изгибаемого элемента воспринимаются бетоном и сжатой стержневой арматурой, а в растянутой – стержневой арматурой и внешней композитной арматурой.

В предельном состоянии в конструкциях, сжимаемых с малым эксцентриситетом, поперечное расширение воспринимается оболочкой из ФАП.

Основные расчётные предпосылки основываются на том, что несущая способность неусиленной конструкции должна быть достаточной для восприятия постоянной и ограниченной временной нагрузки в случае повреждения системы усиления вследствие пожара, землетрясения, вандализма или других причин.

Расчёт по прочности сечений изгибаемых элементов, усиливаемых ФАП, производят из общего условия

$$M < M_{ult}. \qquad (1)$$

Для сечения, симметричного относительно плоскости действия момента и дополнительном армировании композитными материалами, расположенном на грани элемента расчётное условие прочности определяется по формуле:

$$M < \sigma_f S_f + R_s S_s + R_{sc} S_{sc}, \qquad (2)$$

© Савчинский Б. В., 2010

где σ_f – напряжение во внешней арматуре из ФАП;

S_f – момент сопротивления внешней арматуры;

R_s – расчётное сопротивление растянутой стальной арматуры;

S_s – момент сопротивления растянутой стальной арматуры;

R_{sc} – расчётное сопротивление сжатой стальной арматуры;

S_{sc} – момент сопротивления сжатой стальной арматуры.

Высота сжатой зоны X при разрушении усиленного сечения по арматуре и ФАП определяется из выражения (рис. 1):

$$X = (R_{fu} A_f + R_s A_s - R_{sc} A_s) / R_b \cdot b \,, \qquad (3)$$

где R_{fu} – расчётное сопротивление внешней арматуры из ФАП;

A_f – площадь внешней арматуры из ФАП;

A_s – площадь стальной арматуры;

R_b – расчётное сопротивление бетона;

b – ширина сечения конструкции.

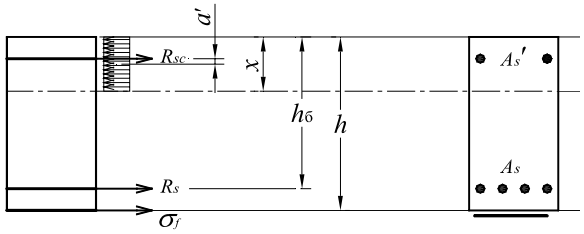


Рис. 1. Расчётная схема усиления балки

Тогда предельный изгибающий момент M_{ult} определяется по формуле:

$$M_{ult} = A_f R_{fu} (h - 0{,}5x) + A_s R_s (h_b - 0{,}5x) +$$

$$+ A'_s R_{slt} (0{,}5x - a'). \qquad (4)$$

При усилении железобетонных строений фиброармированными пластиками выполняются следующие работы:

– грунтовка бетонных поверхностей;

– нанесение шпаклёвочных составов;

– нанесение адгезивов – составов для пропитки и наклейки тканей и ламинатов на поверхность конструкции;

– оклейка поверхностей одно- или двунаправленными тканями или ламинатами.

После очистки поверхность бетона обрабатывается грунтовочным составом для упрочнения основания и улучшения сцепления адгезива с бетонной поверхностью.

При разрушении защитного слоя и оголения рабочей арматуры необходимо очистить обнаженную арматуру от продуктов коррозии, обработать её преобразователями ржавчины и после этого восстановить защитный слой специальными ремонтными составами.

В качестве адгезивов применяются эпоксидные, полиэфирные или винил-эфирные смолы. Эти смолы должны обеспечивать достаточное сцепление (адгезию) с бетоном и с используемыми для усиления тканями или ламинатами.

Прочность бетона основания конструкции, на которой производится усиление по условиям работы конструкции на изгиб или срез должна быть не менее 15 МПа (155 кг/см^2).

Трещины с раскрытием более 0,3 мм должны быть герметизированы эпоксидными составами, а трещины с меньшим раскрытием разрешается затереть полимерцементным раствором.

Наклейка лент выполняется на слой адгезива, при этом ткань (лента) должна укладываться без складок и без лишнего натяжения. Схема наклейки лент приведена на рис. 2.

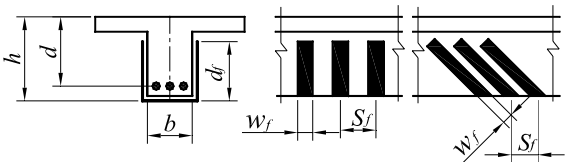


Рис. 2. Принципиальная схема усиления балки

После укладки осуществляется прикатка ткани (ленты), в процессе которой происходит её пропитка адгезивом.

При многослойной конструкции усиления укладка второго слоя ткани производится на слой адгезива из расчёта 0,5…0,6 кг/м^2. Операции по наклейке лент могут выполняться при температуре окружающей среды в диапазоне 5 …45 °С, при этом температура основания бетона должна быть не ниже 5 °С и выше температуры точки росы на 3 °С.

Ламинат применяется как для внешнего армирования (наклейка на поверхность конструкций), так и для внутреннего армирования (размещение узких полос ламината в предварительно подготовленных пазах).

При внутреннем армировании ламинат разрезается на узкие полосы (шириной 10…30 мм).

В конструкции в соответствии со схемой армирования выполняются пазы шириной 3 мм и глубиной, равной ширине полос плюс 2 мм. Пазы заполняются адгезивом на 2/3 объёма, затем в них погружаются заготовки ламината. Избыток адгезива выдавливается на поверх-

ность и удаляется шпателем.

Количество усиливающих накладок определяется расчётом. Максимальное количество слоёв в накладке ограничивается расчётной силой сцепления с поверхностью основания.

Углеродная лента (ламинат) по длине наклейки должна выходить за пределы усиляемой зоны не менее, чем на 100 мм (зона анкеровки) при прочности бетона основания на сжатие более 25 МПа и на 150…200 мм при прочности бетона менее 25 МПа.

С помощью композиционных материалов можно добиться восстановления конструкции, а также увеличения срока службы моста, его прочности и долговечности. Получение таких результатов возможно благодаря особым свойствам полимербетонных материалов: низкая влагопроницаемость, устойчивость к воздействию многих химических агентов.

Физико-механические свойства углепластика по завершению полимеризации: прочность на растяжение – 1100 МПа; модуль упругости – $1{,}0 \cdot 10^5$ МПа; относительное удлинение при разрыве – 0,8 %.

Преимущества технологии использования углеволоконных материалов для усиления конструкций:

– заменяет традиционную методику усиления конструкций;

– позволяет увеличить эксплуатационные нагрузки в 1,5 раза на бетонных конструкциях;

– увеличивает долговечность восстанавливающих конструкций до 50 лет;

– снижает стоимость ремонтных работ по сравнению с традиционными решениями.

Практика подтвердила: в результате усиления железобетонных конструкций материалами из углеродных волокон с высоким модулем упругости снижаются напряжения в арматурной стали и уменьшается ширина раскрытия трещин.

Конструкции, усиленные с применением композиционных материалов проявляют высокую устойчивость к динамическим, в частности, тектоническим нагрузкам. Есть возможность наклеивания холстов в три слоя, при этом образуется привлекательного вида тонкий слой с возможностью нанесения цветного защитного слоя.

Подводя итоги, можно подчеркнуть экономическую эффективность ремонта искусственных сооружений с применением композиционных материалов, что позволит при меньших расходах, по сравнению с реконструкцией, обеспечить восстановление работоспособности искусственных сооружений, а также обеспечить пропуск современных нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. А. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Капризов. – М.: ОАО Издательство «Стройиздат», 2004. – 144 с.
2. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / М.: МПС, 2004.
3. Усиление конструкций композитными материалами из углеродистых волокон Sika [Текст] / 2002.
4. Хаютин, Ю. Г. Усиление железобетонных конструкций автодорожных мостов композитными материалами [Текст] / Ю. Г. Хаютин, В. Л. Чернявский, Е. З. Аксельрод // Транспортное строительство № 1, 2003.

Поступила в редколлегию 14.04.2010.
Принята к печати 23.04.2010.

УДК 691.175 : 69.059

Т. В. УЛЬЧЕНКО (ДИИТ), Ю. Г. БЕРЕГИЙ (ПГАСА, Днепропетровск),
Б. Г. КЛОЧКО (ДИИТ)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РЕМОНТЕ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Виконано зрівняння фізико-механічних властивостей і хімічної стійкості деяких промислових покрить на основі поліуретану, вініл-ефірних смол та полікарбамідів.

Выполнено сравнение физико-механических характеристик и химической стойкости некоторых промышленных покрытий на основе полиуретана, винил-эфирных смол и поликарбамидов.

The physical-and-mechanical properties and chemical resistance of some polymer coatings based on polyurethane, vinyl-ester resins and polyurea have been compared.

Строительные сооружения специального назначения подвергаются влиянию интенсивных эксплуатационных воздействий, что приводит к их частичному разрушению и потере несущей способности. Крайне интенсивно разрушаются материалы конструкций пролетных строений мостов, несущих каркасов зданий, ограждающих конструкций стен и др. Восстановление таких сооружений является трудоемким и дорогостоящим ремонтно-строительным процессом, требующим специальных технических решений в каждом конкретном случае.

Применение обычных цементно-песчаных растворов для устройства защитных экранов, как показала практика [1, 2], недостаточно эффективно по следующими причинам: такие растворы не обладают высокой степенью водонепроницаемости и стойкостью к агрессивным воздействиям, получение равнопрочного сцепления поврежденного бетона конструкций с раствором не представляется возможным, деформативные характеристики растворов отличны от характеристик бетона конструкций, растворы характеризуются длительными сроками твердения. К числу недостатков относится также усложнение технологического процесса ремонтно-восстановительных работ при отрицательных температурах воздуха. В связи с этим необходима разработка новых материалов, обеспечивающих проектные свойства защитного слоя. Для этого вязкость ремонтных смесей должна быть близкой к вязкости воды, ее первоначальное значение должно сохраняться либо незначительно изменяться в течение технологического времени, а потеря текучести раствора – в строго регулируемые сроки.

Учитывая специфические условия эксплуатации транспортных и гидротехнических сооружений, к основным требованиям, которым должен удовлетворять материал конструкций, следует отнести водонепроницаемость, морозостойкость, высокую химическую стойкость, стойкость к механическим воздействиям и т.д. При выборе полимерных связующих для проведения ремонтных работ следует учитывать щелочной характер основного материала специальных сооружений – бетона. Для расширения возможности использования полимеров для работ такого рода необходим поиск материалов, позволяющих осуществить замену дорогостоящих химических продуктов другими, экономически эффективными и равноценными по эксплуатационным характеристикам [1].

Эффективная защита от коррозионных воздействий является одним из основных мероприятий для успешной и долговременной эксплуатации стальных и бетонных конструкций.

В роли защитных (промышленных) покрытий могут выступать краски и полимерные системы на основе полиуретанов, эпоксидных смол, поликарбамидов (полимочевина). К другим полимерам, часто используемым в промышленных покрытиях, относится фторполимер. Существует большое количество промышленных покрытий на основе фосфатов, фторопластов, а также металлических покрытий, таких как напыление конденсацией из паровой (газовой) фазы (*англ.* physical vapour deposition; сокращённо PVD), газотермическое напыление, металлизация, алитирование, цинкование [3, 4, 9].

Полимерные покрытия – одни из самых распространенных из-за своих универсальных

© Ульченко Т. В., Берегий Ю. Г., Клочко Б. Г., 2010

свойств. Наряду с высокими физико-механическими показателями они обладают достаточной химической стойкостью. Такие покрытия правильней называть защитными системами, поскольку их устройство состоит из ряда последовательных операций, таких как подготовка поверхности, нанесение грунтовки (если требуется), нанесение основного слоя, нанесение верхнего слоя (если требуется). Описать все существующие защитные системы невозможно – только по Европе насчитывается более 3000 поставщиков покрытий, и с каждым годом это число увеличивается. Поэтому остановимся на частном случае: защита бетонных поверхностей при погруженном и подземном режиме эксплуатации. Изготовители систем – Stonhard и Reactamine Technology.

В табл. 1 приводится краткий обзор основных физико-механических свойств (показатели гарантированы производителем) рекомендованных изготовителем защитных полимерных систем [5 – 8]. В табл. 2 указан родовой тип и страна происхождения рассматриваемых покрытий.

Таблица 1

Физико-механические показатели полимерных систем

Наименование показателя	Stonclad UT	Stonchem 801	Extra Blast	КФ-МТ-15*	ЭИС-1*
Прочность при сжатии, МПа	53	50	43	27	45
Прочность при растяжении, МПа	7	17	25	-	12
Прочность при изгибе, МПа	18	44	-	15	-
Модуль упругости при изгибе, $\times 10^3$ МПа	18	8	-	16	11
Адгезия к бетону, МПа	2,8	2,8	2,8	5	1,6
Абразивная стойкость, $\times 10^{-2}$ г	5	10	2,5	1,5	-
Термический коэффициент линейного расширения, $\times 10^{-6}$ ºС$^{-1}$	11	12	12	8	9
Ввод в эксплуатацию, при 20 ºС, ч	6	24	1	1	1
Набор конечной прочности, при 20 ºС, ч	24	168	2	2	3

* экспериментальный состав на основе указанной смолы, лабораторные испытания

Применение полимерных композиций является одним из перспективных направлений в защите бетонных конструкций от агрессивного воздействия. Они имеют повышенную химическую и абразивную стойкость. Однако основным препятствием в применении некоторых видов полимерных композиций для ремонта и восстановления сооружений, эксплуатируемых в условиях обводнения, является вымывание эмульгаторов, а также набухание полимерной составляющей, что приводит к развитию внутренних напряжений, снижая долговечность ремонтных покрытий.

Таблица 2

Родовой тип и страна спроисхождения покрытий

Наименование покрытия	Родовой тип	Страна-изготовитель
Stonclad UT	полиуретан	США
Stonchem 801	винил-эфир	США
Extra Blast	поликарбамид	США
КФ-МТ-15	поликарбамид	Украина
ЭИС-1	алкилрезорцин	Украина

Рассматриваемые покрытия имеют высокую стойкость к большинству органических кислот, щелочей и солей. Однако следует отметить, что рассматриваемые покрытия не рекомендуется применять при эксплуатации в среде следующих концентрированных неорганический кислот и органических растворителей: хромиковая кислота 40 %, фторводородная кислота 15 %, азотная кислота 40 %, серная кислота 70 %, ацетон, акрилонитрил, метиленхлорид. Кроме того, покрытия на основе поликарбамидов показывают недостаточную стойкость к амилацетату, бензолу, бутилацетату.

Ниже приведен список веществ, после воздействия которых в течение 7 дней и более на указанных защитных системах не остается следов воздействия:

Уксусная кислота	5 %
Гидроксид аммония	10 %
Соляная кислота	50 %
Перекись водорода	28 %
Гидроксид натрия	10 %
Серная кислота	10 %
Гипохлорид натрия	5 %
Три натрия фосфат	5 %
Моторное масло	20W.

Анализ физико-механических свойств говорит о том, что указанные системы имеют достаточно высокую адгезию к бетонной поверхности. Некоторые системы могут наноситься на

бетонную поверхность без предварительного нанесения грунтовки. Однако залогом адекватного сцепления со старой бетонной поверхностью является предварительная подготовка поверхности.

Изготовитель защитных систем рекомендует наносить защитное покрытие только на чистое, прочное, сухое, правильно подготовленное основание. Минимальная температура воздуха и поверхности во время нанесения не должна быть ниже 13 °С. Максимальная температура воздуха и поверхности во время нанесения не должна превышать 32 °С. Температура поверхности должна быть более чем на 3 °С выше точки росы.

Поверхность должна быть сухой и чистой от всякого рода воска, смазки, жиров, масел, грунта, рыхлого и чужеродного материала, а также цементного молочка. Цементное молочко, а также несвязанные цементные частички, должны быть удалены механическим способом, например, дробеструйным методом или кирковкой. Другие загрязняющие компоненты могут быть удалены при помощи скребка и высокоэффективного промышленного моющего средства, с последующей промывкой чистой водой. Поверхность должна иметь открытые поры и шероховатую структуру наждачной бумаги.

Для удаления загрязнителей с поверхности наиболее эффективно применение пескоструйной, дробеструйной или водоструйной очистки. Может потребоваться выполнить кислотное травление (с последующей тщательной промывкой водой) для открытия пор в бетоне, что обеспечит надлежащую адгезию грунтовки со старой бетонной поверхностью. Пескоструйная очистка бетонной поверхности считается наиболее эффективной в связи с тем, что удаляется верхний ослабленный слой бетона, обнажая более прочный подстилающий слой. При этом образуется неровная, шероховатая структура с определенным количеством свободных (валентных) связей, готовых вступить в химическую реакцию с материалом наносимого покрытия (или грунтовки).

Нанесение материала защитного покрытия рекомендуется выполнять методом безвоздушного распыления при помощи насоса высокого давления.

В связи с тем, что рассматриваемые покрытия имеют сходный с бетоном коэффициент термического расширения, обеспечивается одинаковые температурные деформации покрытия и бетона, исключая возникновение внутренних напряжений на границе бетон-покрытие. Это приводит к уменьшению образования микротрещин в контактной зоне бетон-полимер, что существенно увеличивает долговечность защитных систем.

Данные системы имеют повышенную твердость и высокую абразивную стойкость. Из табл. 1 видно, что система Extra Blast обладает максимальной абразивной стойкостью. В то же время стойкость к абразивным воздействиям Stonchem 801 на порядок уступает Extra Blast и экспериментальному составу на основе смолы КФ-МТ-15. Поэтому следует обратить особое внимание на данную характеристику, если покрытие планируется эксплуатировать в среде с повышенным абразивным воздействием, например, отстойники и транспортные лотки для жидкостей, содержащих дисперсную твердую фазу.

Следующей решающей характеристикой может оказаться время ввода покрытия в эксплуатацию. Рассматриваемые покрытия имеют диапазон набора прочности в пределах от 60 минут до 1 суток. Системы на основе поликарбамидных смол обладают высокой скоростью полимеризации, поэтому не удивительно, что Extra Blast и экспериментальный состав на основе поликабрамидной смолы КФ-МТ-15 лидируют по этому показателю.

Инженерные элементы, подготовка поверхности и нанесение защитной системы являются критическими факторами, которые влияют на долгосрочную эффективность защитной системы. Несмотря на то, что затраты по выполнению указанных факторов составляют всего лишь 40 % от стоимости материала типичной защитной системы покрытия (см. рис. 1), недостаточное внимание или исключение этих элементов приводит, в 90 % всех случаев, к преждевременному разрушению защитного покрытия

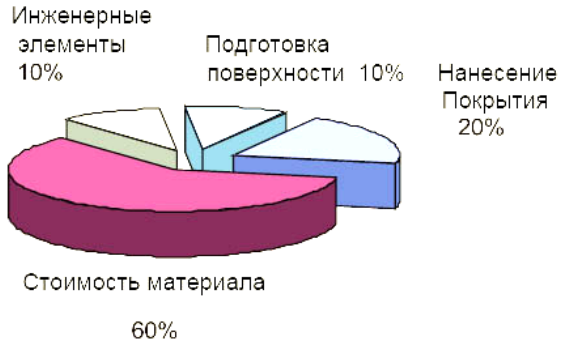


Рис. 1 Затраты по устройству защитной системы

Особое внимание следует уделить заделке деформационных швов, стыков и трещин. Примеры заделки трещины и деформационного

шва приведены на рис. 2, 3. Вариант устройства стыка дна резервуара со стенкой показан на рис. 4. В качестве инженерного текстиля применяется ткань из прочного и эластичного инертного материала.

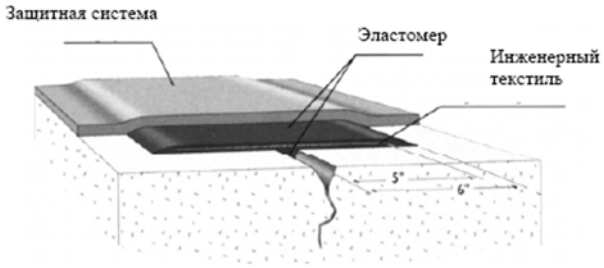


Рис. 2. Заделка трещины

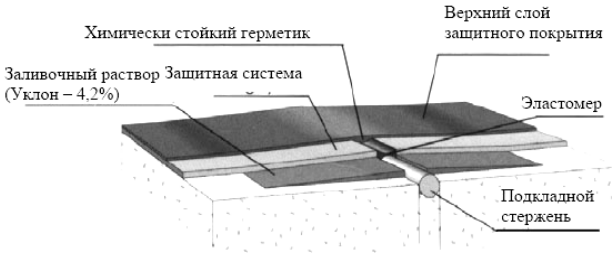


Рис. 3. Устройство деформационного шва

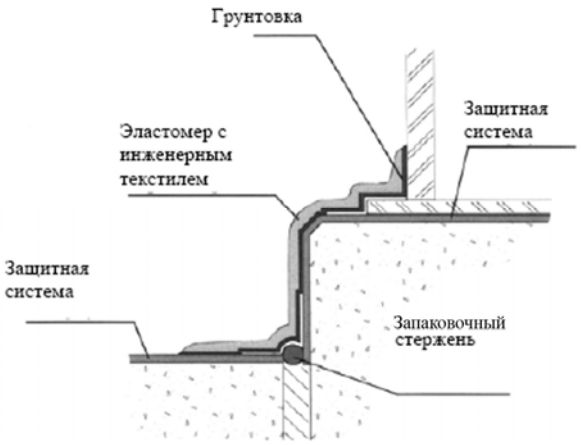


Рис. 4. Обработка стыка дно-стенка

В заключении необходимо отметить, что большое значение имеет правильная подготовка поверхности. В большинстве случаев необходимо выполнить дробеструйную или пескоструйную обработку (бластировку) поверхности для получения текстуры, которая обеспечит надежное сцепление материала покрытия с бетонной поверхностью. При надлежащей обработке поверхности сила сцепления (адгезия) полимерного материала может существенно превышать прочность бетона при растяжении. Особое внимание должно уделяться обработке деформационных стыков и заделке трещин с применением инженерного текстиля и паковочных шнуров.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день рынок промышленных покрытий предлагает стойкие полимерные системы для жестких окружающих условий, таких как зоны вторичных отходов, полы производственных участков, отстойники, траншеи и др. Проблема выбора защитной системы во многом зависит от условий эксплуатации сооружения.

Большинство предлагаемых систем изготавливается за рубежом, что существенно сказывается на их стоимости. Поэтому мы считаем целесообразным и важным направлением разработку отечественных материалов, которые можно будет использовать для создания защитных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько, А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений [Текст] / А. Н. Пшинько. – Д.: Пороги, 2000. – 412 с.
2. Александрян, Э. П. Восстановление и усиление бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений методом инъектирования полимеррастворов [Текст] / Э. П. Александрян // Экпресс-информация. – ЦНТИ, 1993. – № 14. – 22 с.
3. Карманный справочник антикоррозиониста [Текст]. – Екатеринбург: ООО «ИД «Оригами», 2008. – 264 с. – ISBN 978-5-904137-01-4.
4. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика [Текст] / под ред. Р. Ламбурна : [пер. с англ.] – СПб.: Химия, 1991. – 512 с. – Пер. изд.: Великобритания, 1987. – ISBN 5-7245-0446-4.
5. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.stonhard.com/pages/techinfo.html
6. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.reactamine.com/products/industrial-coatings.php
7. Краснюк, А. В. Разработка полимерных составов на основе различных марок карбамидных смол для закрепления трещиноватых бетонных массивов [Текст] / А. В. Краснюк // Строительство. – Д.: ДИИТ. – 2000. – Вып. 8. – С. 223-228.
8. Мамонова, Т. В. Особенности ремонта обводненных транспортных сооружений [Текст] / Т. В. Мамонова // Будівництво: Зб. наук. праць ДІІТу. – Д., 2002. – Вип. 11. – С. 15-18.
9. Руководство для подготовки инспекторов по визуальному и измерительному контролю качества окрасочных работ [Текст] / гл. ред. В. Д. Пирогов. – Екатеринбург: ООО «ИД «Оригами», 2009. – 202 с. – ISBN 978-5-9901098-1-5.

Поступила в редколлегию 15.06.2010.
Принята к печати 24.06.2010.

УДК 624.21.059.1/.21.9.401.7

Ф. В. ЯЦКО (НАУ, Київ)

ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗАХИСНОГО ШАРУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ

В статті представлено моделі визначення довговічності захисного шару залізобетонних елементів споруд за статистичним методом. Наводяться алгоритми визначення довговічності захисного шару залізобетонних елементів споруд.

В статье представлены модели определения долговечности защитного слоя железобетонных элементов конструкций при помощи статистического метода. Приводятся алгоритмы определения долговечности защитного слоя элементов сооружений.

This paper presents the models and algorithms for determination of longevity of protective coating of reinforced concrete parts of structures by a statistical (Monte-Carlo) method.

Вступ

Досі питанню довговічності захисного шару залізобетонних елементів приділялося дуже мало уваги, про що свідчить той факт, що на українських автошляхах 90…95 % залізобетонних прогонових будов мостів мають дефекти захисного шару й арматури, які знижують довговічність і несучу здатність.

Норми регламентують, що розрахунковий ресурс мостів має бути 70…100 років [3]. При цьому в розрахунках немає змінної часу, що в свою чергу пояснюється детерміністичністю розрахункових моделей. В дійсності всі процеси і навантаження в реальному житті відбуваються в функції часу. Сьогодні стає очевидною необхідність в моделях життєвого циклу споруд, які б враховували стохастичну природу характеристик матеріалів і навантажень.

Проблема визначення довговічності споруди складна, її коректна постановка вимагає обліку мінливості матеріалів і навантажень у часі, чутливості до деградації конструктивної форми споруди, умов будівництва, умова експлуатації, характеристики навколишнього середовища, соціально-економічні вимоги. За такої великої кількості вихідної інформації завдання стає важкодоступним для огляду, практично нерозв'язним.

Нові споруди мають певні запаси несної здатності, які створюються за рахунок того, що нормами передбачаються числові характеристики матеріалів і навантажень з урахуванням їхньої випадкової природи. Згодом конструкції зношуються, у них накопичуються дефекти й безпека конструкцій, тобто їхня надійність зменшується. А це ставить перед інженерами завдання кількісної оцінки надійності й довговічності конструкцій як у процесі експлуатації, так і на стадії проектування. Проблеми такого роду зараз стають особливо актуальними через різке зростання кількості споруд, що вимагають ремонту й реконструкції.

Наукові пошуки останніх років з створення засад оцінювання і прогнозування технічного стану транспортних споруд [5] склали базу перших в Україні і СНД чинних нормативних документів [3].

Ця робота присвячена розробці моделі визначення довговічності захисного шару залізобетонних елементів за статистичним методом. Довговічність захисного шару залізобетонного елемента конструкції має тісний зв'язок з довговічністю самого елемента і конструкції в цілому.

Мета роботи

Метою роботи є розробка моделі довговічності захисного шару залізобетонного елемента з урахуванням ймовірнісного характеру стану оточуючого середовища, якості матеріалів, помилок при будівництві і т.д.

Формулювання задачі

Довговічність залізобетонного елемента значною мірою визначається довговічністю захисного шару. Після деградації захисного шару починається активна корозія арматури. Термін служби елемента T до вичерпання ресурсу елемента фактично визначити досить складно. Скористаємось гіпотезою з роботи [5], за якою приблизно половина часу життєвого циклу в експлуатації припадає на деградацію захисного шару.

© Яцко Ф. В., 2010

$$t_0 + t_1 \approx 0{,}5T\,, \qquad (1)$$

де t_0 – час повної карбонізації захисного шару арматури; t_1 – час насичення захисного шару хлоридами (початок корозії арматури і незначного тріщиноутворення).

У фізичному сенсі 0,5 T – є часом початкового тріщиноутворення в бетоні, який проходить після повної карбонізації і насичення захисного шару хлоридами.

Тут теоретичною базою опису швидкості деградації захисного шару бетону є загальні закони аналітичної теорії дифузії, відомі як рівняння першого і другого законів Адольфа Фіка.

Для прогнозу часу карбонізації захисного шару скористаємося одномірним диференційним рівнянням першого закону Фіка [1]:

$$Q = -D\frac{\partial C(x,t)}{\partial x}\,, \qquad (2)$$

де Q – кількість перенесеної в результаті дифузії речовини (в даному випадку – вуглецю), так звана щільність дифузійного потоку; $C(x, t)$ – концентрація речовини, що дифундує як функція координати x і часу t; D – коефіцієнт дифузії газу в бетоні.

Процес дифузії хлоридів описується диференційним рівнянням другого закону Фіка [1]:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2}\,, \qquad (3)$$

де $C = C(x, t)$ – концентрація іонів хлориду на глибині x в час t; D – коефіцієнт дифузії хлоридів у бетоні; t – час (рахується від початку експлуатації); x – координата, нормальна до поверхні бетону.

Ставиться задача отримати час карбонізації захисного шару арматури t_0 та час насичення захисного шару хлоридами t_1 за статистичним методом – методом Монте-Карло.

Алгоритм моделі карбонізації

Карбонізація бетону проходить за рахунок проникнення карбону у захисний шар залізобетону із атмосфери. В залежності від багатьох умов, таких як вологість, середня температура, насиченість карбоном довкілля та ін. швидкість карбонізації змінюється [6]. Цей факт дуже ускладнює аналітичні розрахунки і робить їх практично неможливими. Теж саме стосується і хлоритизації. Проникнення карбонатів і хлоридів в бетон не достатньо вивчений процес, ускладнений складностями аналітичного розв'язання диференційних рівнянь законів Фіка [9]. Тому для вирішення задачі було запропоновано алгоритм проникнення часток дифузанта, як броунівського руху, за методом Монте-Карло.

Аналітично можна показати, що середній квадрат відстані від початку руху R_N пропорційний числу кроків N [4], тобто:

$$\overline{R}_N^2 = N \cdot x^2\,, \qquad (4)$$

де x – довжина кожного кроку.

З огляду на те, що число кроків пропорційне часу $t = N \cdot x$, маємо:

$$\overline{R}_N^2 = x \cdot t\,, \qquad (5)$$

де x – зсув частки, що дифундує.

(Зауважимо, що *середній квадрат відстані* пропорційний часу, тоді як середня відстань не є пропорційною часу).

Середній квадрат зсуву x^2 визначається рівнянням Ейнштейна для одномірного простору. Середній квадрат зсуву часток при цьому виявляється пропорційний часу:

$$\overline{x}^2 = 2D \cdot t\,. \qquad (6)$$

Виходячи з (5), отримаємо час, необхідний для виконання одного циклу зміщення частки:

$$t = \frac{\overline{x}^2}{2D}\,. \qquad (7)$$

Виходячи з (4) – (7), отримаємо час T, необхідний для виконання всіх n циклів зміщення частки:

$$T = n \cdot t\,. \qquad (8)$$

На перший погляд модель виглядає дуже просто, але найбільша складність полягає якраз в тому, щоб вірно порахувати кількість циклів n.

Сам алгоритм складається з наступних кроків:

1. Обирається ділянка зразка, його геометричні параметри, фізико-механічні властивості.
2. Задається концентрація вуглекислого газу на вході в зразок і на виході з нього.
3. Робиться розіграш проходження кожною часткою шляху до моменту отримання шуканої концентрації на виході.
4. Підраховується кількість циклів розіграшів.
5. Обчислюється дійсний час проходження одного циклу в секундах.

6. Обчислюється загальний час перебігу експерименту.

Алгоритм моделі карбонізації, зображений на рис. 1, було реалізовано в програмних комплексах Visual Basic та MathCAD. Слід зауважити, що на відміну від Visual Basic генератор випадкових чисел в MathCAD псевдовипадковий, тому було зроблено перевірку, чи істотно вплине цей факт на результат. Виявляється, що в нашому випадку ніяких розбіжностей не виявлено.

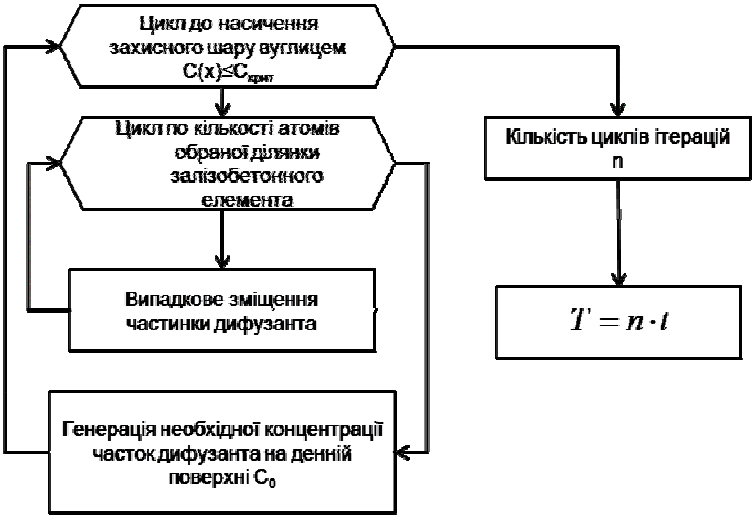


Рис. 1. Графічне зображення алгоритму карбонізації

На сьогодні однозначно ще невідомо, що проходить швидше – карбонізація чи хлоридизація, але відомо, що один процес може прискорювати інший [10]. Саме через наскрізний ефект хлоридизація і карбонізація можуть проходити й одночасно. Аналітичне підтвердження цих положень розрахунками нам невідоме.

Як приклад взято три найпоширеніші товщини захисного шару залізобетонних елементів мостів, які використовуються у середовищі з помірною агресивністю, де концентрація CO_2 у повітрі складає 0,03 %. Результати обчислень наведені в табл. 1.

Алгоритм моделі насичення хлоридами

Алгоритм, графічно зображений на рис. 2, складається, подібно до алгоритму карбонізації, з наступних кроків:

1. Обирається ділянка зразка, його геометричні параметри, фізико-механічні властивості.
2. Задається концентрація хлориду на виході в зразок і на вході з нього.
3. Робиться розіграш проходження кожною часткою шляху до моменту отримання шуканої концентрації на виході.
4. Підраховується кількість циклів розіграшів.
5. Обчислюється дійсний час проходження одного циклу в секундах.
6. Обчислюється загальний час перебігу експерименту.

Таблиця 1

Час до досягнення критичної концентрації карбонатів

Товщина захисного шару, мм	Час T, років, при заданих значеннях коефіцієнтів дифузії D, мм^2/рік		
	$0{,}9 \cdot 10^{-8}$	$1{,}8 \cdot 10^{-8}$	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
30	75	38	15
40	100	50	20
50	126	62	26

У якості прикладу взято три значення товщини захисного шару залізобетонних елементів мостів, що використовуються у середовищі з помірною агресивністю, де концентрація хлоридів по масі бетону на денній поверхні 0,15 %, а критична концентрація хлоридів на рівні арматури 0,02 %. Результати обчислень наведені в табл. 2.

В табл. 3 представлено результати обчислень часу деградації захисного шару залізобетонного елемента.

Для порівняння отриманих результатів були використані відомі аналітичні і емпіричні моделі визначення часу карбонізації (9) – (11) і для визначення часу насичення хлоридами (12) – (14).

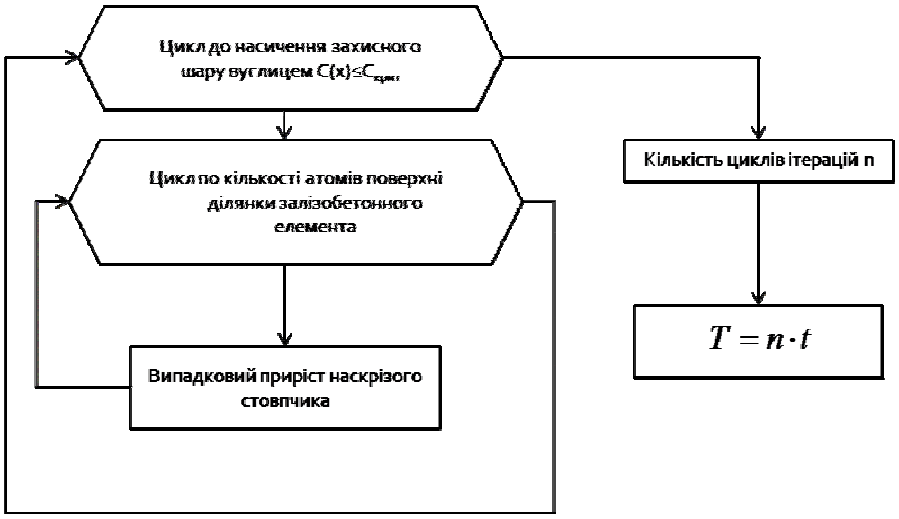


Рис. 2. Графічне зображення алгоритму насичення хлоридами

Таблиця 2

Час до досягнення критичної концентрації хлоридів

Товщина захисного шару, мм	Час T, років, при заданих значеннях коефіцієнтів дифузії D, мм^2/рік		
	$5 \cdot 10^{-12}$	$10 \cdot 10^{-12}$	$15 \cdot 10^{-12}$
30	168	63	42
40	168	82	56
50	210	105	70

В якості прикладу взято захисний шар товщиною 30 мм, з коефіцієнтом дифузії для визначення часу карбонізації $D_c = 0{,}9 \cdot 10^{-5}$ мм^2/рік, концентрацією вуглекислого газу на поверхні C_c = 0,03 %. Для визначення часу насичення захисного шару хлоридами коефіцієнт дифузії $D_{cl} = 5 \cdot 10^{-12}$ мм^2/рік, поверхнева концентрація хлоридів C_{cl} = 0,15 %.

Рівняння (9), яке дозволяє встановити приблизний час t, необхідний для проникнення агресивних речовин до поверхні металу [4]:

$$t = \frac{x^2}{4D}. \qquad (9)$$

З виразу (9) витікає, що довговічність конструкції визначається товщиною захисного шару x і ефективним коефіцієнтом дифузії D агресивних компонентів у шарі.

Інша залежність наводиться в роботі [7]:

$$t = \frac{x^2 m_0}{2DC}, \qquad (1)$$

де m_0 – реакційна здатність бетону, функція властивостей і кількості цементу в бетоні.

В документі [8] надається інша форма представлення властивостей бетону в моделі карбонізації:

$$t = \sqrt[-n+0.5]{\frac{x}{\left(\frac{2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot D \cdot C}{a}\right)^{0,5} \cdot t_0^n}}, \qquad (11)$$

де x – товщина захисного шару; k_1 – параметр середнього вмісту вологи в бетоні; k_2 – параметр умов експлуатації; k_3 – коефіцієнт водоцементного відношення; a – граничне значення вмісту CO_2 в карбонізованому бетоні; t_0 – час експлуатації; n – параметр кліматичних умов експлуатації.

Аналітичний розв'язок (12) рівняння (3) встановлює зв'язок глибини проникнення хлоридів із часом [9]:

$$t = \frac{1}{D}\left[\frac{x}{\left(2\,\mathrm{erfc}^{-1}\left(\frac{C - C_I}{C_S - C_I}\right)\right)}\right]^2, \qquad (12)$$

де erfc() – додаткова функція помилок.

В роботі [9] пропонується така математична модель проникнення хлоридів, яка залежить від водоцементного співвідношення:

$$t = \frac{129 \cdot (x)^{1,22}}{W_{CR} \cdot (C_{cl})^{0,42}}, \qquad (13)$$

де W_{CR} – водоцементне співвідношення; C_{cl} – концентрація хлоридів; x – товщина захисного шару.

В роботі [2] А. І. Васильєв пропонує іншу модель проникнення хлоридів:

$$t = \sqrt[a]{x}\ , \qquad (14)$$

де a – коефіцієнт, який враховує властивості бетону.

Таблиця 3

Порівняння результатів

Модель визначення глибини проникнення дифузанта згідно формули №:	Час T деградації захисного шару, років
(9)	25
(10)	23
(11)	31
Запропонована модель карбонізації	**30**
(12)	27
(13)	38
(14)	20
Запропонована модель насичення хлоридами	**41**

Висновки

1. Прийнята в роботі ймовірнісна процедура методу Монте-Карло для розв'язку диференційних рівнянь деградації бетону А. Фіка дає досить реалістичні алгоритми прогнозу довговічності залізобетонних елементів автодорожніх мостів на стадії проектування.

2. Реалізація запропонованих алгоритмів у програмному комплексі MathCAD показує їх достатньо високу швидкість.

3. Запропонована в роботі модель життєвого циклу, хоча і відображає досить точно процес деградації захисного шару, є приблизною, оскільки є приблизною гіпотеза (1) стосовно того, що час протікання першого і другого етапів деградації в сумі складають приблизно половину ресурсу залізобетонного елемента.

4. Явним недоліком запропонованої моделі життєвого циклу є те, що модель не відображає напружено-деформованого стану елемента.

Ця робота була виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора А. І. Лантуха-Лященко. Висловлюю йому свою щиру подяку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бліхарський, З. Я. Моделювання корозійних руйнувань залізобетонних балок в агресивному середовищі. Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж [Текст] / З. Я. Бліхарський, М. Г. Стащук, О. М. Малик. – Донецьк, 2003.
2. Васильев, А. И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического ресурса срока службы железобетонних мостов [Текст] / А. И. Васильев.
3. ДБН В.2.3-14:2006. Мости і труби. Правила проектування [Текст]. – Мін-во буд-ва, архіт. та житл.-комун. госп-ва. – К., 2006. – 359 с.
4. Бекман, И. Н. Математика диффузии. Лекции [Текст] / И. Н. Бекман. – М.: МГУ, 2004.
5. Лантух-Лященко, А. И. О прогнозе остаточного ресурса моста [Текст] / А. И. Лантух-Лященко // Зб. «Дороги і мости». – 2007. – Вип. 7, т. 2. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – С. 3-9.
6. Маринин, М. Н. О построении кинетической модели карбонизации железобетонных конструкций транспортных сооружений [Текст] / М. Н. Маринин // «Математическое моделирование и краевые задачи». Тр. Третьей Всерос. науч. конф. – Ч. 1. – Самара: СамГТУ, 2006.
7. Руководство по определению диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа [Текст]. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1974.
8. New Approach to Durability Design [Text] // CEB Bulletin d'Information. – 1997. – No. 238.
9. "Critical Literature Review of High-Performance Corrosion. Reinforcements in Concrete Bridge Applications [Text] / W. Hartt [et al.]. – Center for Marine Materials (Florida Atlantic University), 2004. – 53 p.
10. Takewaka, K. Quality and Cover Thickness of Concrete based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments [Text] / K. Takewaka, S. Mastumoto // ACI SP 109-17. – American Concrete Institute, 1988. – P. 381-400.

Надійшла до редколегії 21.05.2010.
Прийнята до друку 26.05.2010.

УДК 519.6 : 504.3.054

Н. Н. БЕЛЯЕВ (ДИИТ)

РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ АВАРИЯХ С ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА БАЗЕ КОДА AIR-3

Розглянуто принципи побудови пакета прикладних програм AIR-3 чисельного моделювання хімічного забруднення атмосфери у випадку аварій. Моделювання базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Рассмотрены принципы построения пакета прикладных программ AIR-3 численного моделирования химического загрязнения атмосферы в случае аварий. Моделирование основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

The basic principles of development of the software AIR-3 aimed at simulation of the atmosphere chemical pollution after accidents are under consideration. The modeling is based on the numerical integration of the *K*-gradient transport model. The results of numerical experiment are presented.

Введение

Прогноз химического загрязнения атмосферы при авариях на железной дороге – важная задача в области экологической безопасности. Целью такого прогноза является определение интенсивности и размеров зон химического загрязнения, выявление подзон токсичного поражения различной тяжести, зон, где может быть взрыв, возгорание и близость этих зон к жилой застройке, и другим объектам. Данная информация служит основой для разработки адекватных мер защиты окружающей среды, выбора маршрутов эвакуации, количества транспортных средств, необходимых для эвакуации, обоснования сроков эвакуации и т.д. Основой получения прогнозных данных является расчет уровня загрязнения окружающей среды, и в первую очередь атмосферы, при аварии. Нормативная методика [7], используемая в настоящее время для прогноза последствий аварий с химически опасными веществами на транспорте, обладает рядом существенных недостатков:

1. В случае аварии с перегретыми жидкостями, загрязнение атмосферы происходит в два этапа – это загрязнение от первичного облака, а потом от шлейфа испаряющейся от зоны разлива жидкости. Учет такого развития событий нормативная методика не предусматривает.

2. При оперативном прогнозе данная методика не учитывает направление ветра, и прогноз выполняется только скорости ветра $V = 1$ м/с.

3. Согласно нормативной методике принимается, что в случае аварии население понесет такие потери: до 25 % населения – легкое поражение; до 40 % – поражение кое поражение; до 40 % – поражение средней тяжести; до 35 % – смертельное поражение (см. [7], с. 7). Т.е., величина потерь просто назначается, а не обосновывается расчетом.

4. В данной методике принято, что при свободном разливе на грунт испарение жидкости осуществляется со слоя жидкости на грунте высотой до 0,05 м. Таким образом, данная методики не учитывается процесс испарения жидкости из грунта, куда жидкость фильтруется с поверхности земли.

5. Для определения глубины загрязнения территории используют данные таблиц, однако искомые величины в таблицах приводится только для ограниченного диапазона количества жидкости (от 0,5 до 300 т), хранящегося в резервуарах. Поэтому, например, в случае разливов менее 0,5 т методика не позволяет выполнить прогноз.

6. В применяемой методике прогноз относится к зоне до 10 м от поверхности земли. Таким образом, данная методика не дает возможности оценить уровень загрязнения, в частности на более высоких уровнях от поверхности земли с целью оценки возможности затекания загрязненного воздуха в систему вентиляций в здании.

7. Нормативная методика не определяет изменение величины концентрации опасного вещества в атмосфере с течением времени, а значит, не дает картину о динамике распространения поражающего фактора, что в свою очередь, не дает возможность научно-обоснованно прогнозировать риск поражения людей.

© Беляев Н. Н., 2010

8. Как известно, скорость и направление ветра могут меняться. Если это произошло, то нормативная методика не может «уточнить» прогноз для новой метеорологической ситуации, потому, что уже произошло частичное испарение разлитой жидкости, но какой части – неизвестно, и поэтому выполнить прогноз для нового значения скорости и направления ветра с помощью данной методики невозможно.

Поэтому значительный интерес представляет создание математических моделей, позволяющих оперативно получать прогнозные данные и не имеющих перечисленные недостатки. В этой связи важным вопросом является разработка численных моделей (CFD модели) [1, 2, 4, 5, 8 – 10], которые позволяют существенно расширить возможности исследователей по получению прогнозной информации, необходимой для оценки последствий аварийных ситуаций. Для экспресс-прогноза, на этапе экспертной оценки, можно ограничится кинематической моделью переноса примеси (модель градиентного типа) для расчета динамики загрязнения атмосферы без привлечения уравнений гидродинамики, применяемых для моделирования переноса примеси с учетом рельефа, зданий, лесных массивов и т.д.

В работе рассматривается описание трехмерной численной модели и применение созданного на ее основе кода *AIR-3* для решения задачи прогноза загрязнения атмосферы при аварийной утечке химически опасных веществ на различных участках Приднепровской железнодорожной дороги вблизи г. Днепропетровска.

Математическая модель

Моделирование процесса переноса химически опасного вещества в атмосфере в случае аварийного выброса (разлива) осуществляется на базе уравнения переноса примеси (модель градиентного типа) [5]

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial uC}{\partial x}+\frac{\partial vC}{\partial y}+\frac{\partial\left(w-w_S\right)C}{\partial z}=$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}(\mu_x\frac{\partial C}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(\mu_y\frac{\partial C}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\mu_z\frac{\partial C}{\partial z})+$$
$$+\sum \mathrm{Q}_i(t)\delta(r-r_i), \quad (1)$$

где C – концентрация примеси, попадающей в атмосферу при аварии; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_S – скорость оседания примеси (в данной работе принята равной нулю); $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициент турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса токсичного вещества от зоны разлива; $\delta(r-r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [5, 4]. Если рассматривается задача о миграции облака, образовавшегося на месте аварии, то в начальный момент времени задается форма облака и концентрация загрязнителя в нем.

В построенной численной модели используется неравномерный профиль скорости ветра и коэффициентов диффузии:

$$u=u_1\left(\frac{z}{z_1}\right)^n;\ \mu_z=0{,}11z;$$
$$\mu_y=\kappa_0\cdot u;\ \mu_y=\mu_x,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 = 10 м; n = 0,15; κ_0 – параметр [3].

Метод решения

Рассмотрим построение разностной схемы для численного интегрирования уравнения переноса примеси [4, 1]. Выполним следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение переноса примеси. Заменим производную по времени разделённой разностью «назад»:

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

Конвективные производные представим в виде:

$$\frac{\partial uC}{\partial x}=\frac{\partial u^+C}{\partial x}+\frac{\partial u^-C}{\partial x};$$
$$\frac{\partial vC}{\partial y}=\frac{\partial v^+C}{\partial y}+\frac{\partial v^-C}{\partial y};$$
$$\frac{\partial wC}{\partial z}=\frac{\partial w^+C}{\partial z}+\frac{\partial w^-C}{\partial z},$$

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

Для аппроксимации конвективных производных используем выражения:

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

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u^-_{i+1,j,k} C^{n+1}_{i+1,j,k} - u^-_{ijk} C^{n+1}_{ijk}}{\Delta x} = L^-_x C^{n+1};$$

$$\frac{\partial \nu^+ C}{\partial y} \approx \frac{\nu^+_{i,j+1,k} C_{ijk} - \nu^+_{ijk} C_{i,j-1,k}}{\Delta y} = L^+_y C^{n+1};$$

$$\frac{\partial \nu^- C}{\partial y} \approx \frac{\nu^-_{i,j+1,k} C_{i,j+1,k} - \nu^-_{ijk} C_{ijk}}{\Delta y} = L^-_y C^{n+1};$$

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w^+_{i,j,k+1} C_{ijk} - w^+_{ijk} C_{i,j,k-1}}{\Delta z} = L^+_z C^{n+1};$$

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

Компоненты вектора скорости будут рассчитываться, при решении гидродинамической задачи, на гранях разностной ячейки (контрольного объема). Вторые производные аппроксимируем следующими выражениями:

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

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C^{n+1}_{i,j+1,k} - C^{n+1}_{ijk}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_y \frac{C^{n+1}_{i,j,k} - C^{n+1}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} = M^-_{yy} C^{n+1} + M^+_{yy} C^{n+1};$$

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

В данных выражениях L^+_x, L^-_x, L^+_y, L^-_y, L^+_z, L^-_y, M^+_{xx}, M^-_{xx} и т.д. – обозначения разностных операторов. С учетом этих обозначений разностный аналог трехмерного уравнения переноса примеси будет иметь вид:

$$\frac{C^{n+1}_{ijk} - C^n_{ijk}}{\Delta t} + L^+_x C^{n+1} + L^-_x C^{n+1} + L^+_y C^{n+1} + L^-_y C^{n+1} + L^+_z C^{n+1} + L^-_z C^{n+1} + \sigma C^{n+1}_{ijk} = \left(M^+_{xx} C^{n+1} + M^-_{xx} C^{n+1} + M^+_{yy} C^{n+1} + M^-_{yy} C^{n+1} + M^+_{zz} C^{n+1} + M^-_{zz} C^{n+1}\right).$$

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

– на первом шаге $k = \frac{1}{4}$:

$$\frac{C^{n+k}_{ij} - C^n_{ij}}{\Delta t} + \frac{1}{2}\left(L^+_x C^k + L^+_y C^k + L^+_z C^k\right) + \frac{\sigma}{4} C^k_{ijk} = \frac{1}{4}\left(M^+_{xx} C^k + M^-_{xx} C^n + M^+_{yy} C^k + M^-_{yy} C^n + M^+_{zz} C^k + M^-_{zz} C^n\right); \quad (3)$$

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

$$\frac{C^k_{ijk} - C^c_{ijk}}{\Delta t} + \frac{1}{2}\left(L^-_x C^k + L^-_y C^k + L^-_z C^k\right) + \frac{\sigma}{4} C^k_{ij} = \frac{1}{4}\left(M^-_{xx} C^k + M^+_{xx} C^c + M^-_{yy} C^k + M^+_{yy} C^c + M^-_{zz} C^k + M^+_{zz} C^c\right); \quad (4)$$

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

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

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

$$\frac{\overset{5}{C}{}^{n+1}_{i,j,k} - \overset{5}{C}{}^{n}_{i,j,k}}{\Delta t} = \sum_{l=1}^{N} \frac{q_l\,(t^{n+1/2})}{\Delta x\,\Delta y\,\Delta z}\,\delta_l.$$

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

На базе рассмотренной численной модели создан код AIR-3, реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN.

Дополнительные расчетные процедуры

Одним из наиболее частых следствий аварий является разлив опасных веществ. В разработанном коде для расчета интенсивности испарения от зоны аварийного разлива используется несколько подходов. При экспресс прогнозе применяется зависимость [6]

$$Q = (5{,}83 + 4{,}1 \cdot V)\, P_{\text{н}} \sqrt{M}, \quad (5)$$

где Q – интенсивность испарения;

V – скорость ветра;

$P_н$ – давление насыщенных паров;

M – молекулярная масса вещества.

Для более детального расчета процесса испарения при разливе на грунт и фильтрации загрязнителя внутрь грунта (с учетом свойств грунта) рассматривается решение сопряженной задачи испарения на границе «поверхность грунта - атмосфера» [1].

В разработанном коде есть возможность моделировать загрязнение от движущегося источника эмиссии токсичного вещества, например, движущейся дымящей цистерны. В этом случае параметр интенсивности эмиссии Q зависит как от времени, так и от координат x, y. В качестве исходной информации также вводятся данные о скорости движения источника эмиссии и его маршрут.

Для оценки риска токсичного поражения людей в коде используется сопоставление величины расчетного значения концентрации со смертельной концентрацией в точке расположения рецептора или расчет токсодозы для людей, попавших в зону химического загрязнения и выходящих из этой зоны согласно маршруту эвакуации [1]:

$$TD = \int_0^t C(x, y, z, t)\, dt\,,$$

где t – время экспозиции; C – концентрация токсичного вещества в точке расположения рецептора.

В разработанном коде для задания маршрута эвакуации применяются маркеры. В коде предусмотрено задание не только маршрута эвакуации, но и скорости передвижения на нем людей.

Кроме данной расчетной зависимости в коде AIR-3 для прогноза риска токсичного поражения используется зависимость для расчета «пробит»-функции. Эта функция представляет собой комбинацию ряда эмпирических констант и величины токсодозы и имеет вид:

$$P = \alpha + \beta + Tdd\,,$$

где

$$Tdd = \int_0^t C^{\nu}(x, y, z, t)\, dt\,,$$

α, β, ν – константы, зависящие от вида токсичного вещества и человека (например, ребенок, пожилой, мужчина).

После расчета поля загрязнения на момент времени t после аварии определяется величина токсодозы (пробит-функции) в расчетной области, отдельно рассчитывается зона, где значение токсодозы равно или превышает ее смертельное значение для данного токсичного вещества и строится поле этой зоны с целью визуальной оценки ее размеров относительно жилой застройки.

В построенной численной модели используется метод маркирования [7] («porosity technique») для выделения разностных ячеек, которые относятся к области аварийного выброса (разлива) химически опасного вещества и области жилой застройки.

Практическая реализация модели

Разработанный код был применен для проведения серии вычислительных экспериментов по оценке интенсивности химического загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности в случае возможных аварий при транспортировке опасных грузов на участке Приднепровской железной дороги: станция *Днепропетровск-Южный* – станция *Днепропетровск-Грузовой*.

В результате расчетов определялось время подхода шлейфа токсичного вещества (трифторид бора, винилхлорид, аммиак) к жилой застройке для различных метеоситуаций и размеров эмиссии, время формирования зон с поражающими концентрациями, возможные потери среди населения. В качестве иллюстрации результатов расчетов на рис.1, 2 представлена зона загрязнения атмосферы в случае гипотетической аварии на ст. *Днепропетровск-Грузовой* (выброс винилхлорида, скорость ветра V_{10} = = 7 м/с), а на рис. 3-5 – динамика развития зоны загрязнения в случае гипотетической аварии на ст. *Встречная* (выброс трифторида бора, скорость ветра V_{10} = 4,5 м/с). Из представленных рисунков хорошо видно, что в случае аварии в течение короткого промежутка времени шлейф токсичного вещества достаточно быстро достигнет жилой застройки, и создастся угроза токсичного поражения людей. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что за столь короткий промежуток времени не удастся не только осуществить эвакуацию людей из зоны поражения, но и оповестить население об угрозе поражения.

Отметим, что для решения каждой задачи потребовалось минимальное время – порядка 5 с, что является немаловажным фактором при решении прогнозных задач данного класса.



Рис. 1. Зона загрязнения атмосферы в случае гипотетической аварии на ст. *Днепропетровск-Грузовой,* выброс винилхлорида (сечение z = 2 м), t = 25 с



Рис. 2. Зона загрязнения атмосферы в случае гипотетической аварии на ст. *Днепропетровск-Грузовой,* выброс винилхлорида (сечение z = 2 м), t = 34 с



Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы в случае гипотетической аварии на ст. *Встречная*, выброс трифторида бора, t = 18 с (сечение z = 2 м)



Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы в случае гипотетической аварии на ст. *Встречная* (выброс трифторида бора), t = 60 с (сечение z = 2 м)

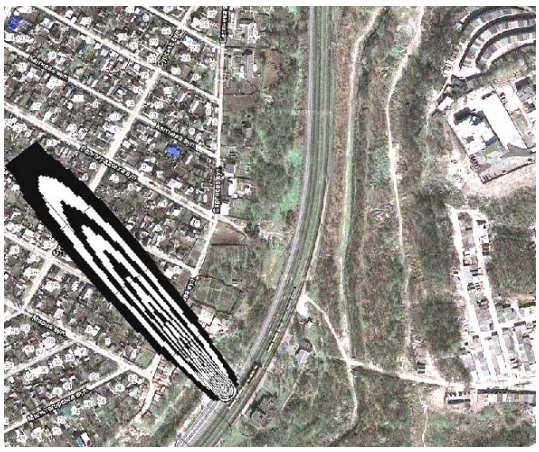


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферы в случае гипотетической аварии на ст. *Встречная*, (выброс трифторида бора, t = 160 с (сечение z = 2 м)

Выводы

Рассмотрены основные принципиальные особенности разработанного кода AIR-3, предназначенного для прогноза последствий аварий с химически опасными веществами. Прогноз загрязнения атмосферы осуществляется на базе численного интегрирования трехмерного уравнения переноса примеси. Рассмотренная численная модель может быть отнесена к группе «screening models», позволяющих быстро получать прогнозную информацию при определенной ограниченности исходных данных, характерной для задач рассматриваемого класса.

Выполненные с помощью кода AIR-3 расчеты загрязнения атмосферы при гипотетическом аварийном выбросе токсичных веществ на ряде конкретных участков железной дороги показали, что в случае аварийной ситуации за короткий промежуток времени произойдет опасное

загрязнение воздушной среды в селитебной зоне, расположенной вблизи железой дороги, по которой осуществляется транспортировка этих грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антошкина, Л. И. Оценка экологического риска при авариях с химически опасными веществами [Текст] / Л. И. Антошкина, Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько. – Д.: Наука и образование, 2008. – 132 с.
2. Беляев, Н. Н. Численное моделирования загрязнения воздушной среды на промплощадках [Текст] / Н. Н. Беляев, П. Б. Машихина, Е. Ю. Гунько // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 18-20.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 273 с.
4. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский [и др.]. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
5. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
6. Мацак, В. Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве [Текст] / В. Г. Мацак, Л. К. Хоцянов. – М.: Медгиз, 1959. – 231 с.
7. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об’єктах і транспорті [Текст]. – К., 2001. – 33 с.
8. Mahfound, K. 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.
9. Maurizi, A. Numerical Simulation of the Atmospheric Flow in a Mountainous Region of North Portugal [Text] / A. Maurizi, J. M. L. M. Palma, F. A. Castro // Proc. of 2nd EACWE (Genova, 1997). – Vol. 1. – P. 293-300.
10. Belyaev, M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes Caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances [Text] // Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment. NATO Science for Peace and Security Series. – C.: Environmental Security, Springer, 2007. – P. 327-336.

Поступила в редколлегию 02.06.2010.
Принята к печати 14.06.2010.

УДК 519.6 : 504.3.054

Н. Н. БЕЛЯЕВ, П. Б. МАШИХИНА (ДИИТ)

К РАСЧЕТУ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

На базі тривимірної чисельної моделі виконано розрахунок процесу поширення токсичної речовини в атмосфері з урахуванням рельєфу при аварійному розливі. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та моделі потенційного руху. Наводяться результати обчислювального експерименту.

На базе трехмерной численной модели выполнен расчет распространения токсичного газа в атмосфере с учетом рельефа после аварийного разлива. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси и модели потенциального течения. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

The 3D numerical model was used to simulate the toxic gas dispersion over a complex terrain after an accident spillage. The model is based on the K-gradient transport model and the model of potential flow. The results of numerical experiment are presented.

Введение

Рост требований к качеству прогнозной информации по оценке последствий аварийных ситуаций, сопровождающихся выбросом (разливом) химически опасных веществ ставит задачу создания моделей, учитывающих при расчете такой важный фактор как рельеф местности [1]. Нормативная методика [5], используемая для прогноза последствий при авариях с опасными веществами, не учитывает влияние рельефа местности на процесс рассеивания примеси в атмосфере и поэтому не может быть применена для прогноза масштаба загрязнения для условий сложной орографии. Применение аналитических моделей рассеивания примеси, например, модели Гаусса (данная модель реализована во многих коммерческих программных продуктах, в частности таких как «Аммиак», *ISC3*, *SCIPUFF*, *SDM*, *PUFF-PLUME*, *HYROAD* и т.д.) – также исключено, т.к. аналитические модели не учитывают деформацию поля скорости ветрового потока (первоочередное влияние рельефа) при обтекании сложного рельефа, а значит применение их – принципиально невозможно в условиях сложной орографии. Математическое моделирование рассеивания загрязнителя в атмосфере с учетом рельефа местности может быть выполнено только с помощью численных моделей (CFD модели) [8 – 10].

Целью настоящей работы является применение разработанной трехмерной численной модели и созданного на ее основе кода, для решения задачи прогноза загрязнения атмосферы при аварийном разливе химически опасного вещества возле железнодорожной станции и в условиях сложного рельефа. Численная модель позволяет рассчитать процесс переноса загрязнителя в течение нескольких секунд на компьютерах средней мощности при использовании стандартной исходной информации. Выигрыш во времени при реализации модели обусловлен тем, что в отличие от гидродинамических моделей вязкого течения, где необходимо использовать крайне мелкую сетку, в разработанной модели используется модель потенциального течения для расчета поля скорости ветрового потока, что дает возможность выполнять расчет на более грубых сетках, называемых на практике реальными.

Математическая модель

Моделирование процесса переноса токсичного газа в атмосфере проводится на основе уравнения переноса примеси [2, 3]:

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial uC}{\partial x}+\frac{\partial vC}{\partial y}+\frac{\partial (w-w_S)C}{\partial z}=$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}(\mu_x\frac{\partial C}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(\mu_y\frac{\partial C}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\mu_z\frac{\partial C}{\partial z})+$$
$$+\sum Q_i(t)\delta(r-r_i), \qquad (1)$$

где C – концентрация примеси, попадающей в атмосферу при аварии; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_S – скорость оседания примеси (в данной работе принята равной нулю); $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициент турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса токсичного вещества от зоны

© Беляев Н. Н., Машихина П. Б., 2010

разлива; $\delta(r-r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [2, 4]. Если рассматривается задача о миграции облака, образовавшегося на месте аварии, то в начальный момент времени задается форма облака и концентрация загрязнителя в нем.

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

$$u = u_1\left(\frac{z}{z_1}\right)^n,\ \mu_z = 0{,}11z,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 = 10 м; n = 0,15.

Метод решения

Произведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение переноса примеси. Заменим производную по времени разделённой разностью «назад»:

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

Конвективные производные представим в виде:

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

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

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

где $u^+ = \frac{u+|u|}{2}$; $u^- = \frac{u-|u|}{2}$, $\nu^+ = \frac{\nu+|\nu|}{2}$;

$$\nu^- = \frac{\nu-|\nu|}{2},\ w^+ = \frac{w+|w|}{2};\ w^- = \frac{w-|w|}{2}.$$

Для аппроксимации конвективных производных используем выражения:

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

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

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

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

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

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

Компоненты вектора скорости будут рассчитываться, при решении гидродинамической задачи, на гранях разностной ячейки (контрольного объема). Вторые производные аппроксимируем следующими выражениями:

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

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y\frac{\partial C}{\partial y}\right) \approx \tilde{\mu}_y\frac{C^{n+1}_{i,j+1,k} - C^{n+1}_{ijk}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_y\frac{C^{n+1}_{i,j,k} - C^{n+1}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} = M^-_{yy}C^{n+1} + M^+_{yy}C^{n+1};$$

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

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

$$\frac{C^{n+1}_{i\,jk} - C^{n}_{i\,jk}}{\Delta t} + L_x^+C^{n+1} + L_x^-C^{n+1} + L_y^+C^{n+1} + L_y^-C^{n+1} + L_z^+C^{n+1} + L_z^-C^{n+1} + \sigma C^{n+1}_{i\,jk} = \left(M^+_{xx}C^{n+1} + M^-_{xx}C^{n+1} + M^+_{yy}C^{n+1} + M^-_{yy}C^{n+1} + M^+_{zz}C^{n+1} + M^-_{zz}C^{n+1}\right).$$

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

- на первом шаге $k = \frac{1}{4}$:

$$\frac{C^{n+k}_{i\,j} - C^{n}_{i\,j}}{\Delta t} + \frac{1}{2}\left(L_x^+C^k + L_y^+C^k + L_z^+C^k\right) +$$

$$+\frac{\sigma}{4}C^{\,k}_{i\,jk}=\frac{1}{4}\Big(M^{+}_{xx}C^{k}+M^{-}_{xx}C^{n}+M^{+}_{yy}C^{k}+$$

$$+M^{-}_{yy}C^{n}+M^{+}_{zz}C^{k}+M^{-}_{zz}C^{n}\Big);\qquad(3)$$

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

$$\frac{C^{k}_{i\,jk}-C^{c}_{i\,jk}}{\Delta t}+\frac{1}{2}\Big(L^{-}_{x}C^{k}+L^{-}_{y}C^{k}+L^{-}_{z}C^{k}\Big)+$$

$$+\frac{\sigma}{4}C^{k}_{i\,j}=\frac{1}{4}\Big(M^{-}_{xx}C^{k}+M^{+}_{xx}C^{c}+M^{-}_{yy}C^{k}+$$

$$+M^{+}_{yy}C^{c}+M^{-}_{zz}C^{k}+M^{+}_{zz}C^{c}\Big);\qquad(4)$$

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

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

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

$$\frac{{}^{5}C^{\,n+1}_{i,j,k}-{}^{5}C^{\,n}_{i,j,k}}{\Delta t}=\sum_{l=1}^{N}\frac{q_l(t^{n+1/2})}{\Delta x\,\Delta y\,\Delta z}\,\delta_l\,.$$

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

Для расчета скорости ветра при обтекании рельефа используется модель потенциального течения. Как известно [3], уравнение для определения потенциала скорости имеет вид:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}=0\,.\qquad(5).$$

Компоненты вектора скорости определяются по зависимостям

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

Постановка граничных условий для данного уравнения рассмотрена в работе [3]. Для численного интегрирования этого уравнения используется идея установления решения по времени, т.е. интегрируется уравнение эволюционного вида

$$\frac{\partial P}{\partial \eta}=\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}\,,\qquad(6),$$

где η – фиктивное время.

При $\eta\to\infty$ решение уравнения (6) будет стремиться к «установлению», т.е. к решению уравнения (5) [7].

Численное интегрирование проводится с помощью схемы суммарной аппроксимации [7]. В этом случае разностные уравнения на каждом шаге расщепления имеют вид:

- на первом шаге:

$$\frac{P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}-P^{n}_{i,j,k}}{\Delta t}=\left[\frac{-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}+P^{n+\frac{1}{2}}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2}\right]+$$

$$+\left[\frac{-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}+P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2}\right]+\left[\frac{-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}+P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k-1}}{\Delta z^2}\right];$$

- на втором шаге:

$$\frac{P^{n+1}_{i,j,k}-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}}{\Delta t}=\left[\frac{P^{n+1}_{i+1,j,k}-P^{n+1}_{i,j,k}}{\Delta x^2}\right]+$$

$$+\left[\frac{P^{n+1}_{i,j+1,k}-P^{n+1}_{i,j,k}}{\Delta y^2}\right]+\left[\frac{P^{n+1}_{i,j,k+1}-P^{n+1}_{i,j,k}}{\Delta z^2}\right].$$

На каждом шаге расщепления неизвестная величина потенциала скорости определяется по схеме бегущего счета:

- на первом шаге расчетная зависимость имеет вид:

$$P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}=P^{n}_{i,j,k}+\Delta t\cdot\left[\frac{-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}+P^{n+\frac{1}{2}}_{i-1,j,k}}{\Delta x^2}\right]+$$

$$+\left[\frac{-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}+P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j-1,k}}{\Delta y^2}\right]+\left[\frac{-P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k}+P^{n+\frac{1}{2}}_{i,j,k-1}}{\Delta z^2}\right];$$

- на втором шаге расчетная зависимость имеет вид:

$$P_{i,j,k}^{n+1} = P_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + \Delta t \cdot \left[\frac{P_{i+1,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] +$$

$$+ \left[\frac{P_{i,j+1,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} \right] + \left[\frac{P_{ijk+1}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} \right].$$

В численной модели используется метод маркирования («porosity technique») для выделения разностных ячеек, которые относятся к области течения и к твердым границам (рельеф) [9]. Применение этого метода дает возможность быстро «построить» форму рельефа местности при вводе исходных данных для моделирования.

На основе рассмотренной численной модели создан код ***TERRAIN*-3**, реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN. Разработанный код построен на модульном принципе, что дает возможность его применения для решения широкого круга задач, без внесения корректировки в структуру программ.

Практическая реализация модели

Рассматривается применение построенной трехмерной численной модели для прогноза загрязнения воздушной среды при гипотетическом аварийном разливе синильной кислоты на станции *Днепропетровск-Южный* (рис. 1, зона аварии условно показана «кружком», *B* – здание вокзала). Ветер направлен в сторону здания вокзала. Зона разлива находится на склоне насыпи (рис. 2) . Моделирование выполнено при следующих данных: размеры расчетной области 90 м × 90 м × 36 м; V_{10} = 3,8 м/с; $\mu_x = \mu_y$ = = 1 м^2/с; $\mu_z = 0{,}11 \cdot Z$ (Z – высота); площадь зоны разлива составляет порядка 112 м^2. Интенсивность испарения от зоны разлива рассчитывалась в коде по зависимости [5]:

$$Q = (5{,}83 + 4{,}1 \cdot V) P_{\text{н}} \sqrt{M}, \qquad (7)$$

где Q – интенсивность испарения,

V – скорость ветра;

$P_{\text{н}}$ – давление насыщенных паров;

M – молекулярная масса вещества.

Данная величина составляла порядка 4,3 кг/с от зоны разлива.

Рассматриваемая задача характеризуется следующими орографическими особенностями: склон насыпи с подъемом к путям, горизонтальный участок – место расположения путей и здание вокзала. При моделировании полагается, что в открытые проемы здания поступает загрязненный атмосферный воздух и выходит с противоположной (северной) стороны. Расчет поля скорости и переноса примеси, как в атмосфере, так и внутри здания осуществляется сквозным счетом.

Рассмотрим результаты моделирования. На рис. 3 представлена зона загрязнения атмосферы возле вокзала для момента времени t = 80 с. Хорошо видно, как шлейф токсичного газа вытягивается вдоль склона насыпи в направлении вокзала и внутри здания вокзала формируется зона загрязнения. Также отчетливо видно, что над участком, где располагаются пути, образуется обширная область загрязнения. Наличие насыпи и здания приводит к деформации формирующейся зоны загрязнения.



Рис. 1. Место гипотетической аварии на ст. Днепропетровск-Южный (*B* – вокзал)

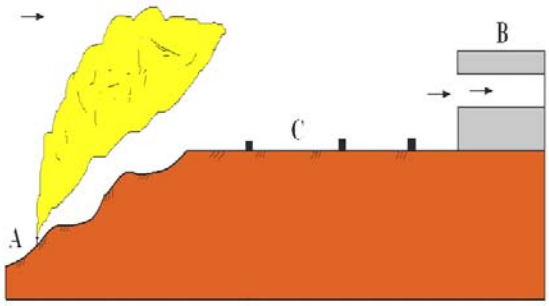


Рис. 2. Схема расчетной области: *A* – зона аварийного разлива на склоне насыпи; *C* – место расположения железнодорожных путей; *B* – здание вокзала

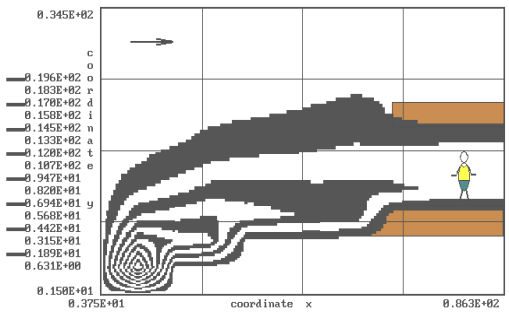


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы t = 80 с (сечение y =41,25 м)

Практический интерес представляет оценка риска поражения людей внутри вокзала. В табл. 1 представлены прогнозные значения концентрации токсичного газа внутри здания вокзала для различных моментов времени после аварии. Как видно из табл. 1, в здании вокзала быстро будет достигнута смертельная концентрация загрязнителя (смертельная концентрация для HCN составляет порядка 1 мг/л). Очевидно, что за это время люди, находящиеся внутри вокзала, не могут уйти из зоны поражения.

Таблица 1

Изменение концентрации токсичного газа в здании вокзала

t, с	C, г/м^3
14,6	1,51
20	2,08
36	3,02

Отметим, что для решения данной задачи потребовалось 10 с.

Выводы

В работе на основе разработанной численной модели и созданного на ее основе кода выполнен расчет загрязнения атмосферы при аварийном разливе химически опасного вещества вблизи железнодорожной станции. Расчеты показали, что в случае аварийной ситуации произойдет интенсивное загрязнение воздушной среды внутри здания вокзала, что создаст угрозу смертельного поражения людей, находящихся в нем.

Дальнейшее совершенствование рассмотренной в работе модели необходимо проводить в направлении ее адаптации к моделированию процесса нейтрализации токсичного газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст] : учеб. пособие в 5-ти кн. / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 200 с.
2. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский [и др.]. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 735 с.
4. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об’єктах і транспорті [Текст]. – К., 2001. – 33 с.
6. Мацак, В. Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве [Текст] / В. Г. Мацак, Л. К. Хоцянов. – М.: Медгиз, 1959. – 231 с.
7. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
8. Castino, F. Parameterization Of Convective And Stable Interval Boundary Layers Into Mass Consistent Models [Text] / F. Castino, M. Tombrou // 2 EACWE (Genova, Italy, 1997). – P. 309-314.
9. 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 University of Technology, Netherlands, July 2-6, 2001). – P. 355-358.
10. Maurizi, A. Numerical Simulation of the Atmospheric Flow in a Mountanious Region of North Portugal [Text] / A. Maurizi, J. M. L. M. Palma, F. A. Castro // Proc. of 2nd EACWE (Genova, Italy, 1997). – Vol. 1. – P. 293-300.

Поступила в редколлегию 02.06.2010.
Принята к печати 21.06.2010.

.

УДК 628.88

И. В. ЖИТЧЕНКО, В. О. ПЕТРЕНКО, С. З. ПОЛИЩУК, А. О. ПЕТРЕНКО (ПГАСА, Днепропетровск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА КОМПЬЮТЕРНЫХ КЛАССОВ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Досліджено параметри мікроклімату комп'ютерних класів у теплий період року.

Исследованы параметры микроклимата компьютерных классов в теплый период года.

The parameters of microclimate in computer classrooms during a warm season were under investigation.

Микроклимат в помещении жилых и гражданских зданий в теплый период года зависит от многих факторов. Влияние этих факторов на организм человека может приводить к дискомфорту [1].

Наибольшее влияние на формирование микроклимата в помещении жилых и гражданских зданий оказывает температура внутреннего воздуха [2].

Для изучения состояния микроклимата и обобщения полученных результатов проведены натурные исследования состояния параметров внутренней среды в помещении в теплый период года.

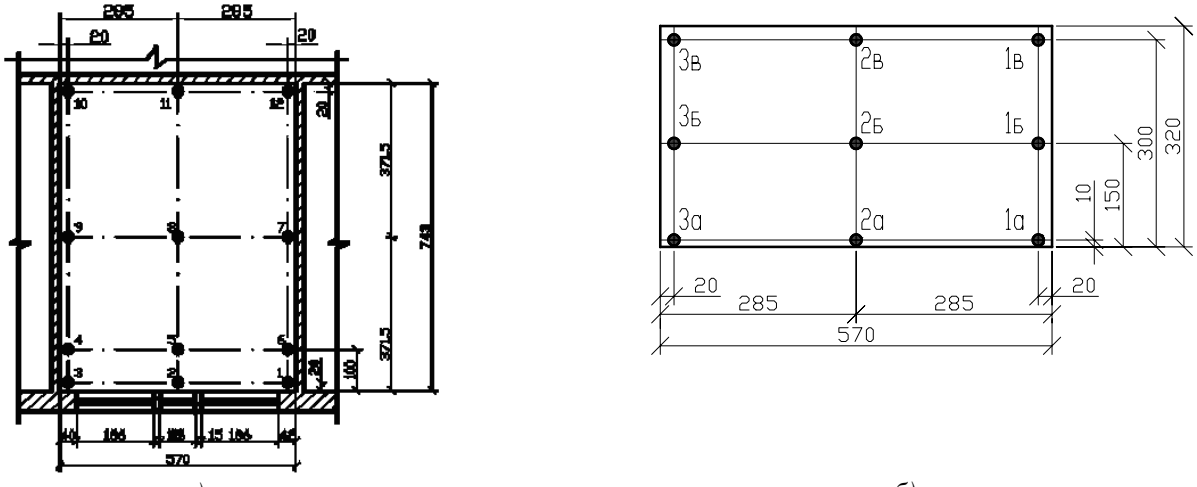
В ходе исследований велись наблюдения за температурой внутреннего воздуха и температурой по мокрому термометру по всему объему помещения.

Для более полной характеристики микроклимата в помещении необходимы сведения о распределении температур по горизонтали и по вертикали помещения. Их распределение зависит от конструктивных факторов помещения, параметров наружной среды и места нахождения людей.

Замеры параметров микроклимата в теплый период года производились в трех уровнях и четырех плоскостях. Схема точек измерения, представлена на рис. 1. При этом отмечалось состояние параметров наружного климата.

Для измерения параметров микроклимата внутри помещения и снаружи использовался психрометр Асмана.

Полученные данные натурных измерений подверглись аналитической обработке и последующему построению графиков, показывающих характер распределения температур по высоте помещения.



а) *б)*

Рис. 1. Расположение характерных точек в рабочей зоне:
а) план помещения; *б)* схема расположения точек по высоте помещения

© Житченко И. В., Петренко В. О., Полищук С. З., Петренко А. О., 2010

Исследования проводились в неугловом помещении 14-этажного здания гражданского назначения, расположенного на двенадцатом этаже. Исследование параметров микроклимата помещения проводились в теплый период года два раза в сутки. Первые наблюдения проходили с 7:00 до 9:00 ч, а вторые после занятий – с 14:30 до 16:30 ч. Результаты измерений приведены на рис. 2 в виде графика распределения температур по вертикали помещения в измеряемых точках.

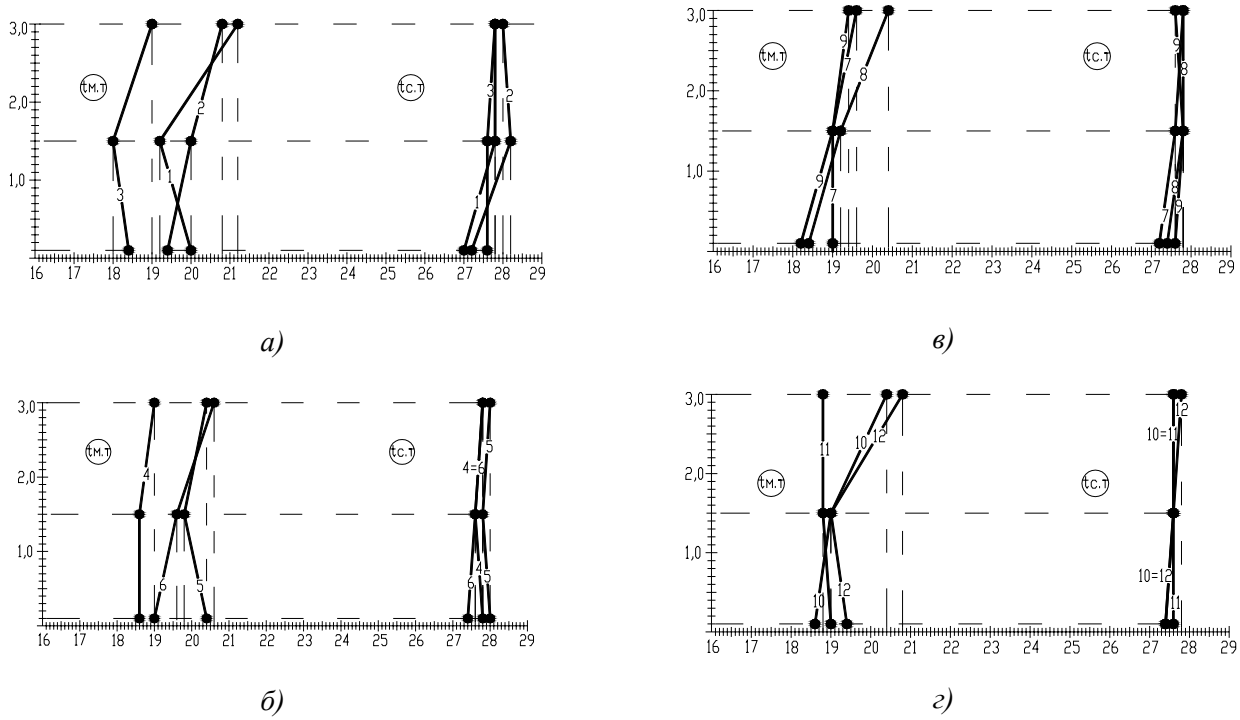


Рис. 2. Графики распределения температур по вертикали помещения в измеряемых точках:
$t_{м.т}$ – температура внутреннего воздуха помещения по мокрому термометру, °С;
$t_{с.т}$ – температура внутреннего воздуха помещения по сухому термометру, °С

Результаты исследований показали, что распределение температуры внутреннего воздуха происходит по всему объему помещения в пределах от 27 °С до 28,2 °С, что удовлетворяет санитарно-гигиеническим рекомендациям о равномерности распределения температур и не превышает допустимого значения разницы температур 2 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст] : учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Н. Богословский. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.
2. Чесанов, Л. Г. Теплообмен человека в помещении [Текст] / Л. Г. Чесанов, В. О. Петренко // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Ч. 2, Вып. 15. – Д.: ПГАСА, 2002. – С. 169-171.

Поступила в редколлегию 12.05.2010.
Принята к печати 24.05.2010.

УДК 656.25 : 621.318.5

С. Ю. БУРЯК (ДІІТ)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Наведено спосіб математичного моделювання стрілочного електропривода в системі «MATLAB + Simulink».

Приведён способ математического моделирования стрелочного электропривода в системе «MATLAB + Simulink».

The method of mathematical modeling of switch eclectic drive in the system MATLAB + Simulink is presented.

Вступ

В сучасній практиці експлуатації стрілочних переводів їх стан визначається працівниками колії, а стрілочних приводів і гарнітури працівниками дистанції сигналізації та зв'язку. Контроль здійснюється візуально, тому не може дати повноцінної інформації, щодо можливих відхилень від вільного переводу стрілки [1].

В процесі експлуатації на переводі можливе забруднення башмаків, відсутність на них мастила, потрапляння сторонніх предметів між гостряком і рамною рейкою, викривлення гостряків та інші випадки, коли перевід стрілки стає неможливим чи здійснюється уповільнено та ускладнено. Утримання стрілочного приводу передбачає змащення редуктора, контроль затиснення фрикційного зчеплення, перевірку колодок та контактів автоперемикача і т.ін. [1], що в сучасній практиці експлуатації також не перевіряється автоматизовано.

Для підвищення надійності експлуатації стрілочного переводу необхідне застосування системи автоматизованого контролю параметрів стрілочного переводу, яке б дозволило виявляти недоліки в роботі стрілочного переводу під час кожного спрацьовування. Це дасть можливість завчасно усувати причини, які в майбутньому могли б призвести до відмови, що в свою чергу могла б стати причиною затримки руху поїздів.

Діагностування стану стрілочних переводів централізованих стрілок з поста електричної централізації доцільно проводити за кривою струму, що протікає в колі електродвигуна стрілочного електроприводу під час переводу, адже амплітудне значення струму змінюється в залежності від моменту на валу двигуна, який в свою чергу є результатом дії сил опору пересуванню гостряків в крайнє положення. До сил, які перешкоджають вільному переведенню стрілки, крім згаданих раніше, можна також віднести нерівномірність розподілу навантаження на привод через нерівність поверхні, що утворює поверхня башмаків, на яку вкладаються гостряки. Крім цього пошкодження можливі і в самому електродвигуні: обриви та короткі замикання в обмотках, несправність підшипника і т.д. [2].

Для розробки діагностичних систем необхідно мати модель об'єкту діагностування в справному стані, а також із можливими (ймовірними) дефектами [4], для того, щоб потім, порівнюючи струмові криві переводу стрілок, які знаходяться в експлуатації, з отриманими раніше зразками струмових кривих переводів стрілок, можна було з певною ймовірністю визначити стан приводу, що діагностується, і виявляти у разі появи дефекти. Ці дефекти можуть бути як вже дослідженими і підтвердженими експлуатаційною практикою [5], так і носити виключно теоретичний характер, що відповідає поглядам проектувальника.

Широке застосування в системах залізничної автоматики знайшли двигуни постійного струму з послідовним збудженням, оскільки вони відповідають усім вимогам, які висуваються до стрілочних двигунів [3].

Зважаючи на це, ***метою роботи*** є розробка математичної моделі стрілочного електроприводу з двигуном постійного струму з послідовним збудженням в системі «MATLAB + Simulink» (рис. 1).

Математична модель

Математичне моделювання проведено в системі «MATLAB + Simulink».

Розроблена схема моделі стрілочного електроприводу, яка наведена на рис. 1.

Схема включає джерело постійної напруги DC Voltage Source для живлення машини, блок

© Буряк С. Ю., 2010

From Workspace «Moment» для завдання обертаючого моменту на валу машини й зняття її динамічних характеристик, досліджувану машину постійного струму з послідовним збудженням DC Machine, прилад для виміру змінних стану машини Display, блок Demux, який ділить вхідний вектор на його складові, і прилад Scope для візуального спостереження струмів і напруг, а також кривих перехідних процесів змін швидкості й моменту досліджуваної машини в тому числі й моменту, що задається [6].

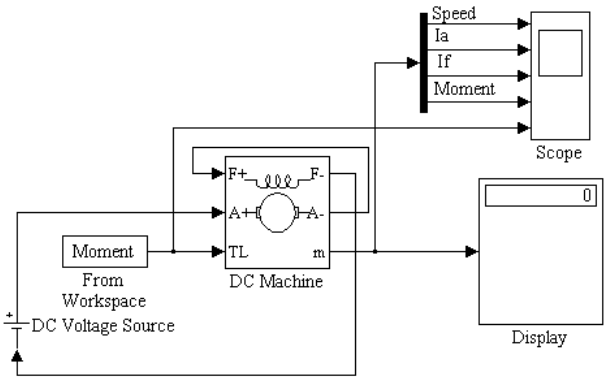


Рис. 1. Модель машини постійного струму з послідовним збудженням

В залежності від навантаження на двигун, яке задається за допомогою блока Moment, на осцилографі (Scope) можна спостерігати часові залежності зміни швидкості обертання валу двигуна (Speed) у рад/с, струму обмотки якоря (*Ia*) та обмотки збудження (*If*) в А, а також моменту на валу двигуна (Moment), який вимірюється у Н·м [6], що під'єднані до осцилографа через блок Demux, при цьому одночасно спостерігаючи за зміною моменту на валу, що задається.

У створеній математичній моделі в основу методу обробки сигналів покладено аналіз залежності величини амплітуди струму і характеру її зміни у колі двигуна від моменту на його валу. Момент на валу двигуна можна задавати як у вигляді масиву чисел, так і відповідно до математичних законів, або залежностей, які може створювати і задавати сам проектувальник. При цьому миттєві значення швидкості обертання валу двигуна (рад/с), струму в обмотках збудження і якоря (А), а також моменту на його валу (Н·м) виводяться у вигляді числового значення на Display.

Результати моделювання

Задаючи різні значення моменту на валу двигуна, можна дізнатися поводження струмової кривої в залежності від характеру навантаження. Якщо, наприклад, навантаження несе логарифмічний характер і може бути описане функцією $y = \ln(x)$ (рис. 2), то реакція моделі буде такою, як зображено на рис. 3.

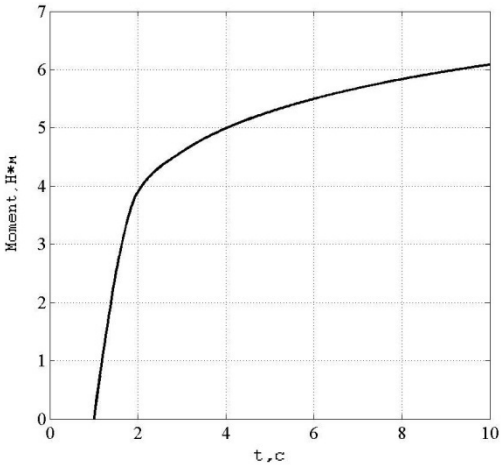


Рис. 2. Характер навантаження на валу двигуна у вигляді логарифмічної функції

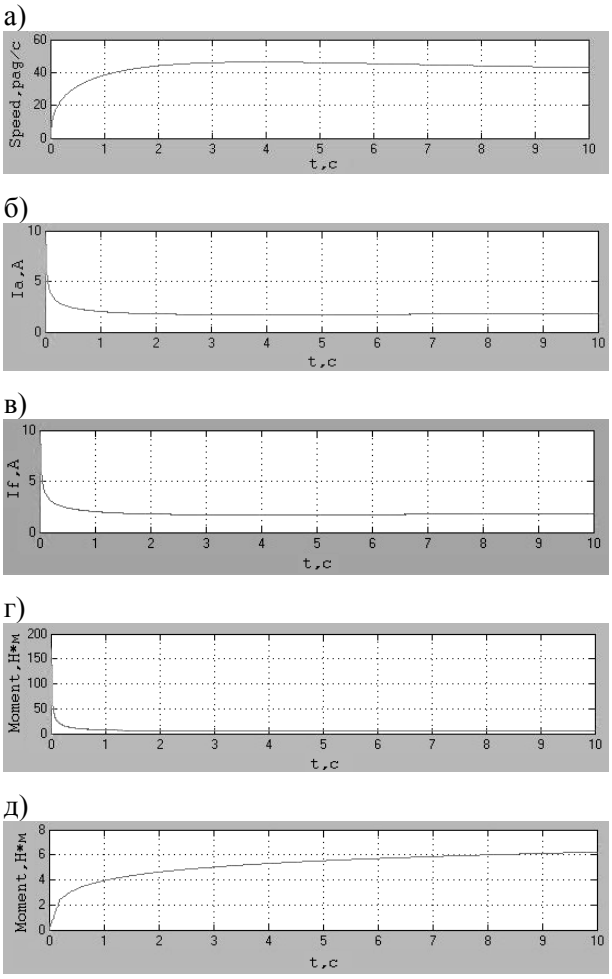


Рис. 3. Часові залежності при навантаженні у вигляді логарифмічної функції:
а – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотці якоря; *в* – струму в обмотці збудження; *г* – моменту на валу двигуна; *д* – моменту, що задається як навантаження

Судячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що швидкість обертання валу двигуна обернено пропорційна моменту, який необхідно розвинути (див. рис. 3, *а*). Дві наступні осцилограми являють собою часову залежність зміни струму від моменту на валу. Оскільки обмотки з'єднані послідовно, то і струм в них протікає однаковий, тобто $I = Ia = If$.

Під час пуску двигуна спостерігається зростання струму, яке в кілька разів перевищує робочий струм (рис. 4). Це забезпечує великий пусковий момент, який наведено на четвертій часовій залежності (див. рис. 3, *г*) і більш наглядно показано на рис. 5. Зміну моменту на валу двигуна можна описати формулою [3]:

$$M = C_м \cdot I^2, \qquad (1)$$

де $C_м$ – постійна, яка залежить від конструкції двигуна;

I – струм у колі двигуна.

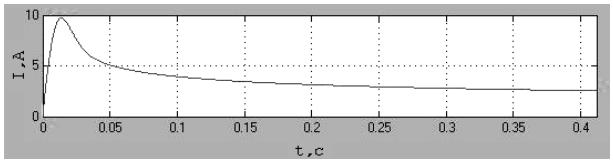


Рис. 4. Часова залежність струму під час пуску двигуна

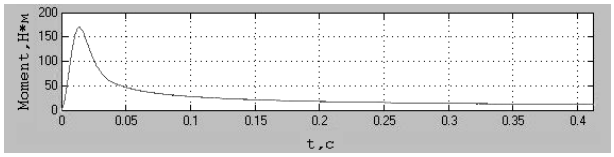


Рис. 5. Момент на валу під час пуску двигуна

На підставі наведених вище осцилограм можна дійти висновку, що робочі характеристики моделі при даному виді навантаження відповідають характеристикам двигунів постійного струму з послідовним збудженням [3]. З'ясуємо тепер як поводитиметься модель при навантаженнях, що задаються значеннями, які підкорюються іншим законам розподілу.

Надамо навантаженню характер експоненціальної функції виду $f(x) = e^x$ (рис. 6), реакція моделі показана на рис. 7.

При даному виді навантаження на основі отриманих осцилограм (див. рис. 7) можна зробити висновки, що реакцією моделі на зростання моменту на валу двигуна є пропорційне зростання струму в обмотках двигуна (рис. 7, *б* та 7, *в*) і, як наслідок, збільшення моменту на валу двигуна (рис. 7, *г*), та відповідно зменшення числа обертів вала (рис. 7, *д*). Як і в попередньому досліді, струм в обмотках та момент на валу під час пуску двигуна також мають значення, які в декілька разів перевищують робочі. Це свідчить про адекватну поведінку моделі при завданні моменту на валу двигуна у вигляді навантаження, що підкорюється експоненціальному закону. Отже результати обох дослідів, в яких навантаження носило різний характер, співпадають.

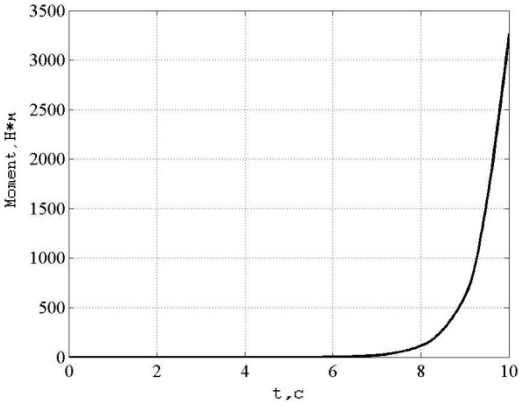


Рис. 6. Характер навантаження на валу двигуна у вигляді експоненціальної функції

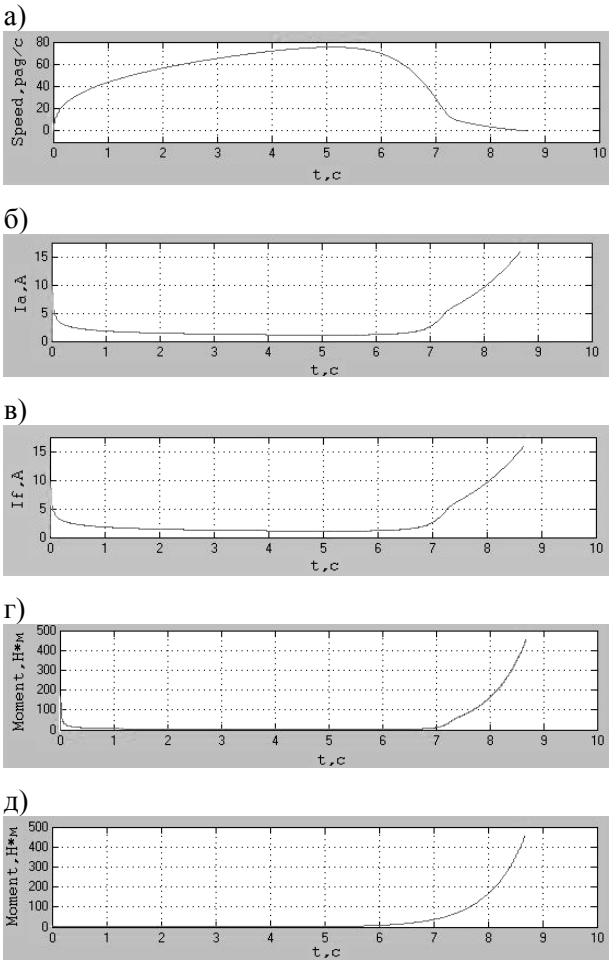


Рис. 7. Часові залежності при навантаженні у вигляді експоненціальної функції:

а – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотці якоря; *в* – струму в обмотці збудження; *г* – моменту на валу двигуна; *д* – моменту, що задається як навантаження

Особливістю двигунів постійного струму з послідовним збудженням є те, що їх не можна вмикати без навантаження, тому що швидкість обертання валу збільшується на стільки, що досягає неприпустимо великих значень і стає причиною виходу з ладу двигуна [7], який фактично йде в рознос. Перевіримо можливість цього процесу на даній моделі.

Отже при роботі моделі в режимі холостого ходу часові залежності параметрів будуть такими, як показано на рис. 8.

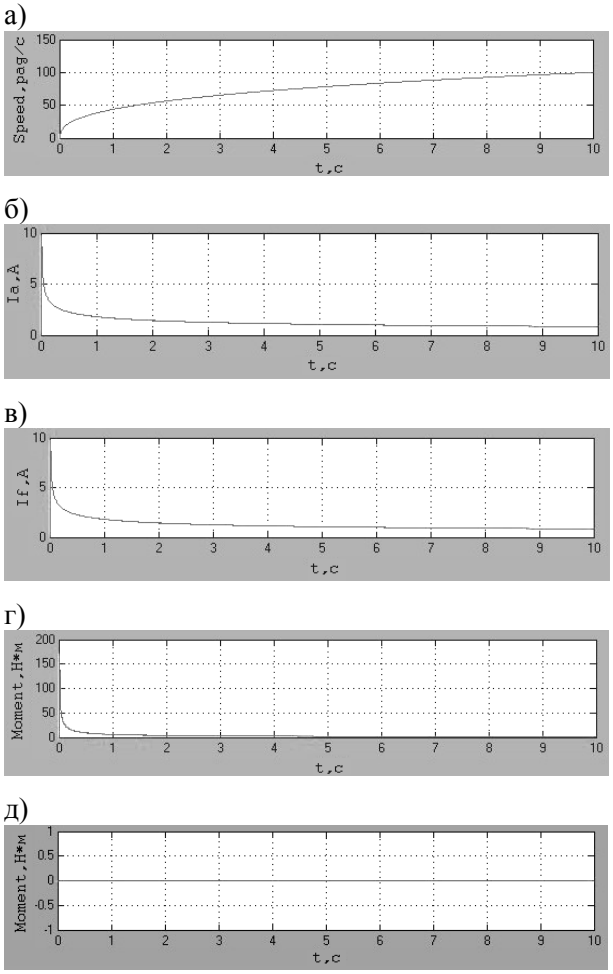


Рис. 8. Часові залежності при холостому ході: *а* – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотці якоря; *в* – струму в обмотці збудження; *г* – моменту на валу двигуна; *д* – моменту, що задається як навантаження

З осцилограм можна встановити, що швидкість обертання вала двигуна поступово і неухильно збільшується і навіть за 10 с не набирає свого максимального значення, що в дійсності призводить до руйнування двигуна.

При цьому момент на валу майже відсутній, а струм в обмотках стає дедалі меншим.

На основі цих спостережень про відповідність моделі її реальним аналогам можна дійти висновку, що параметри даної моделі відповідають реальним і в режимі холостого ходу.

Висновки

Розроблено математичну модель стрілочного електроприводу в системі «MATLAB + Simulink».

Проведено моделювання з аналізом отриманих результатів.

Одержано залежності швидкості обертання вала двигуна, струму в обмотках і моменту на валу від характеру навантаження.

Результати моделювання задовільно співпадають із результатами експериментальних досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ЦШЕОТ 0012 [Текст] : інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. – К.: Укрзалізниця, 1998. – 72 с.
2. Маловічко, В. В. Вивчення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочних електродвигунів [Текст] / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 5-8.
3. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 2000. – 432 с.
4. Сапожников, В. В. Основы технической диагностики [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов ж-д. трансп. / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.
5. Перникис, Б. Д. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ [Текст] / Б. Д. Перникис, Р. Ш. Ягудин. – М.: Транспорт, 1984. – 224 с.
6. Герман-Галкин, С. Г. Электрические машины: лабораторные работы на ПК [Текст] / С. Г. Герман-Галкин, Г. А. Кардонов. – СПб.: КОРОНА принт, 2003. – 256 с.
7. Вольдек, А. И. Электрические машины [Текст] : учеб. для студ. высш. техн. учебн. заведений / А. И. Вольдек. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

Надійшла до редколегії 13.04.2010.
Прийнята до друку 29.04.2010.

УДК 656.21.001.57

А. А. БОСОВ, К. В. ЕЛИСЕЕНКО (ДІІТ)

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕРЫ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Запропоновано варіант числення функцій множини та його застосування.

Предложен вариант исчисления функций множества и его применение.

The variant of calculus of functions of a set and its application are offered.

В работе [1, с. 92] сформулированы две задачи теории меры:

1. Трудная задача теории измерения.

Необходимо каждому ограниченному множеству E приписать неотрицательное число $\mu(E)$ – его меру так, чтобы были выполнены следующие условия:

1) если $E=[0,\ 1]$, то $\mu(E)=1$;

2) если множества A и B конгруэнтны, то $\mu(A)=\mu(B)$;

3) если $E=\bigcup\limits_k E_k$ и $E_i\bigcap E_j=\varnothing$ при $i\neq j$, то

$$\mu(E)=\sum_k \mu(E_k).$$

Оказывается, что эта задача неразрешима даже в пространстве R_1.

2. Легкая задача теории измерения.

В этой задаче условия 1) и 2) такие же, как и в трудной задаче, а условие 3) выполняется только для конечного числа слагаемых, т.е. если $E=\sum\limits_{k=1}^{n} E_k$ и $E_i\bigcap E_j=\varnothing$ при $i\neq j$, то

$$\mu(E)=\sum_{k=1}^{n}\mu(E_k).$$

Относительно легкой задачи имеем следующее.

Теорема (С. Банах). Легкая теория измерения разрешима для пространств R_1 и R_2, но не единственным образом.

Теорема (Ф. Хаусдарф). Для пространств R_n, где $n\geq 3$, легкая задача теории измерения неразрешима.

Отметим, что условие 2) неявно утверждает, что работаем в однородном пространстве. Последнее можно воспринимать как ограничение на «размеры» области (множества), в которой работаем.

Если мы откажемся от предположения об однородности пространства, то тогда теряет смысл и условие 1).

Пусть X является некоторым подмножеством множества Ω, а $\mathfrak{A}(X)$ – множество подмножеств множества X, причем считаем, что $\mathfrak{A}(X)$ является алгеброй [2].

Определение 1. Отображение $\mathfrak{A}(X)$ на действительную ось R будем называть функцией множества и символически записывать $\mathfrak{A}(X)\xrightarrow{F}R$, где F – правило отображения.

Среди всевозможных правил отображения выберем такое, что имеет место

$$\begin{aligned}&1.\ \mu(A)\geq 0\ \ \forall A\in\mathfrak{A}(X).\\ &2.\ \text{Если } \mu(A)=0,\ \text{то } A=\varnothing.\\ &3.\ \forall A,B\in\mathfrak{A}(X)\ \text{имеем}\\ &\mu(A\bigcup B)=\mu(A)+\mu(B)-\mu(A\bigcap B).\end{aligned}\qquad(1)$$

Функцию множества $\mu(A)$ будем называть мерой на множестве $\mathfrak{A}(X)$.

Рассмотрим некоторые примеры.

Дискретные множества. В этом случае $\Omega=\{\omega_i,\ i=1,...,n\}$, а $X\subset\Omega$ состоит из конечного числа точек. Пусть $|X|$ – число равное числу точек, принадлежащих X. В этом случае $\mathfrak{A}(X)$ будет содержать $2^{|X|}$ подмножеств множества X.

Каждому $x\in X$ присвоим число $p(x)>0$. В этом случае $\forall A\in\mathfrak{A}(X)$ имеем

$$\mu(A)=\sum_{x\in A}p(x).\qquad(2)$$

Легко проверить, что так определенная $\mu(A)$ удовлетворяет соотношениям (1).

Однако, в общем случае существование $\mu(A)$, удовлетворяющей соотношениям (1), требует дополнительного исследования.

Рассмотрим пример [3], когда введенная мера учитывает неоднородные оси.

© Босов А. А., Елисеенко К. В., 2010

Определение 2. Промежутком оси считаем любые из следующих видов множеств:

1) отрезок $[\alpha, \beta]$ (концы включены);

2) интервал (α, β) (концы исключены);

3) полуинтервал $(\alpha, \beta]$ (включен правый конец);

4) полуинтервал $[\alpha, \beta)$ (включен левый конец);

5) отдельная точка $[\alpha]$.

Пусть каждому промежутку Δ на отрезке $[a, b]$ сопоставлено некоторое положительное число $\mu(\Delta)$ и выполняется условие полной аддитивности, т.е., если Δ есть объединение $\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n, ...$ без общих точек, то

$$\mu(\Delta) = \sum_k \mu(\Delta_k).$$

В этом случае задана мера, аналогичная мере Стилтьеса. Заметим, что в случае, когда $\mu(\Delta)$ равна длине промежутка Δ, а если Δ – точка, то полагаем $\mu(\Delta) = 1$. Таким образом, получаем обобщение меры Лебега [4].

Определение 3. Пусть $f(x)$ определена на отрезке $[\alpha, \beta]$ и такая, что при любом c множество $\{f(x) \le c\}$ измеримо по только определенной мере, такие функции, следуя Лебегу, будем называть измеримыми.

Рассматривая конструкцию интеграла по Лебегу и данной мере, получаем, что всегда существует интеграл от измеримой функции, который будем обозначать в виде

$$\int_A f(x)\, \mu(dx),$$

где $A \subseteq [a, b]$.

Пример. Пусть $A = \{x_i \in [a, b];\ i = \overline{1, n}\}$, а функция $f(x)$ равна $f(x_i) = z_i$ и равна нулю вне точек из A, тогда интеграл от данной функции будет равен

$$\int_A f(x)\, \mu(dx) = \sum_{i=1}^{n} z_i \cdot \mu(\{x_i\}).$$

Учитывая, что $\mu(\{x_i\}) = 1$, получим

$$\int_A f(x)\mu(dx) = \sum_{i=1}^{n} z_i .$$

Если обозначить через $m(\Delta)$ меру Лебега Δ, то интеграл от данной функции по мере Лебега будет равен нулю.

Определение 4. Пусть A и $B \in \mathfrak{A}(X)$, тогда множество $A \triangle B$ будем называть вариацией множества A с помощью множества B, где $\triangle$ – симметрическая разность.

Определение 5. Множество B будем называть пределом последовательности $\{B_n\}$, $n = 1, 2, ...$, если имеет место

$$\lim_{n\to\infty} \mu(B_n \triangle B) = 0. \qquad (3)$$

Пусть B_* является пределом по Борелю последовательности $\{B_n\}$, $n = 1, 2, ...$, тогда имеет место

Теорема 1 **[5].** Если у последовательности $\{B_n\}$ существуют пределы B_* и B, то они совпадают и из существования одного из них следует существование другого.

Определение 6. Если на любой последовательности $\{B_n\}$, сходящейся к B, имеет место

$$\lim_{n\to\infty} F(B_n) = F(B),$$

то такую функцию будем называть непрерывной.

Определение 7. Предел последовательности чисел

$$a_n = \frac{F(A \triangle B_n) - F(A)}{\mu(A \triangle B_n) - \mu(A)},\ n = 1,\ 2,\ ...$$

будем называть производной функции множества $F(A)$ на последовательности $\{B_n\}$ и записывать в виде

$$\left.\frac{dF(A)}{d\mu}\right|_{\{B_n\}} \triangleq \lim_{n\to\infty} a_n. \qquad (4)$$

Теорема 2 **[5].** Если $F(E) \le F(A)$, $\forall A \in \mathfrak{A}(X)$, то с необходимостью для непрерывной функции имеет место

$$\left.\frac{dF(E)}{d\mu}\right|_{\{B_n\} \to B \subset C} \le 0.$$

Заметим, что в случае, когда $F(A)$ – аддитивная функция, то определение (4) совпадает с определением Коши [4].

Рассмотрим задачу векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} F_1(A) \\ F_2(A) \end{pmatrix} \to \min$$

при условии, что функции определены и непрерывны на $\mathfrak{A}(X)$.

Определение 8. Множество $A \in \mathfrak{A}(X)$ называется эффективным, если любая его вариация одну из функций уменьшает, а другую увеличивает.

Теорема 3. Для того, чтобы множество A было эффективным, необходимо и достаточно

$$\frac{dF_1(A)}{d\mu} + t\frac{dF_2(A)}{d\mu} = 0, \qquad (5)$$

где $t \geq 0$, а производные берутся на последовательности $\{B_n\}$, сходящейся к $B \subset A$.

Доказательство. *Необходимость.* Пусть A – эффективное множество, тогда

$$\Delta F_1 = F_1(A \triangle B_n) - F_1(A)$$

и $$\Delta F_2 = F_2(A \triangle B_n) - F_2(A)$$

имеют разные знаки и получаем

$$\frac{\Delta F_1}{|\Delta F_1|} + \frac{\Delta F_2}{|\Delta F_2|} = 0,$$

или $$\frac{\Delta F_1}{\Delta\mu} + \frac{\left|\frac{\Delta F_1}{\Delta\mu}\right|}{\left|\frac{\Delta F_2}{\Delta\mu}\right|} \cdot \frac{\Delta F_2}{|\Delta\mu|} = 0, \qquad (6)$$

где

$$\Delta\mu = \mu(A \triangle B_n) - \mu(A).$$

В силу непрерывности F_1, F_2 и μ, взяв предел в (6) на последовательности $\{B_n\}$, сходящейся к B, получаем

$$\frac{dF_1(A)}{d\mu} + t\frac{dF_2(A)}{d\mu} = 0, \qquad (*)$$

где $t = \lim\limits_{n\to\infty} \left|\frac{\Delta F_1}{\Delta\mu}\right| \Big/ \left|\frac{\Delta F_2}{\Delta\mu}\right|$.

Достаточность. Пусть имеет место (5), которое запишем в виде

$$\lim_{x\to\infty} \left(\frac{\Delta F_1}{\Delta\mu} + \frac{\left|\frac{\Delta F_1}{\Delta\mu}\right|}{\left|\frac{\Delta F_2}{\Delta\mu}\right|} \cdot \frac{\Delta F_2}{|\Delta\mu|} \right)\Bigg|_{\{B_n\}\to B\subset A} = 0,$$

или $$\lim_{x\to\infty} \left(\frac{\Delta F_1}{|\Delta F_1|} + \frac{\Delta F_2}{|\Delta F_2|} \right)\Bigg|_{\{B_n\}\to B\subset A} = 0.$$

Выражение, стоящее в скобках, может быть равным –2 или 0, или 2.

Следовательно, для любого сколь угодно малого $\varepsilon > 0$ можно указать номер $n(\varepsilon)$, начиная с которого

$$\left| \frac{\Delta F_1}{|\Delta F_1|} + \frac{\Delta F_2}{|\Delta F_2|} \right| < \varepsilon.$$

Последнее означает, что, начиная с номера $n(\varepsilon)$, имеем

$$\frac{\Delta F_1}{|\Delta F_1|} + \frac{\Delta F_2}{|\Delta F_2|} = 0,$$

а в силу произвольности последовательности $\{B_n\}$ данное соотношение будет иметь место и для $n = 1, 2, \ldots$, что и доказывает достаточность (5).

Пример 1. Пусть

$$F_1(A) = \int_A f_1(x)\,\mu(dx);$$

$$F_2(A) = 1 - \int_A f_2(x)\,\mu(dx),$$

тогда

$$\left.\frac{dF_1}{d\mu}\right|_{\{B_n\}\to\{x\}\in A} = f_1(x);$$

$$\left.\frac{dF_2}{d\mu}\right|_{\{B_n\}\to\{x\}\in A} = -f_2(x)$$

Из условия (*) для $\forall x \in A$ имеем

$$f_1(x) + t \cdot f_2(x) = 0, \quad t \geq 0.$$

Решая данное уравнение относительно x, получаем $x(t)$ и, перебирая $t \geq 0$, получаем эффективные множества в параметрической форме.

Если $f_1 = x^2$, $f_2 = x$, то имеем $A = \{x : 0 \leq x \leq t\}$.

$$F_1(A) = \int_A x^2\,\mu(dx), \quad F_2(A) = 1 - \int_A x\,\mu(dx).$$

Графики этих интегралов представлены на рис. 1.

Пример 2. Пусть $F_1(A)$, $F_2(A)$ такие как в примере 1, а $f_1 = x^2$ и $f_2 = (x-1)^2$, то решение уравнения (**) представляет собой

$$x_1(t) = (t - \sqrt{t})/(t-1); \; x_2(t) = (t + \sqrt{t})/(t-1);$$

тогда $A = \{x : x_1(t) \le x \le x_2(t),\ t \ge 0\}$, а поведение F_1, F_2 представлено на рис. 2.

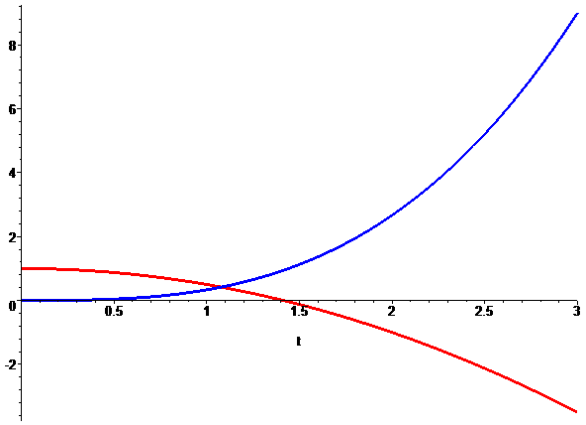


Рис. 1

$$\left.\frac{dF_1}{d\mu}\right|_{\{B_n\}\to\{x\}\in A} = f_1(x),$$

$$\left.\frac{dF_2}{d\mu}\right|_{\{B_n\}\to\{x\}\in A} = -f_2(x).$$

Из условия (*) для $\forall x \in A$ имеем

$$f_1(x) - t f_2(x) = 0,\ t \ge 0. \qquad (**)$$

Решая данное уравнение относительно x, получаем $x(t)$ и, перебирая $t \ge 0$, получаем эффективные множества в параметрической форме.

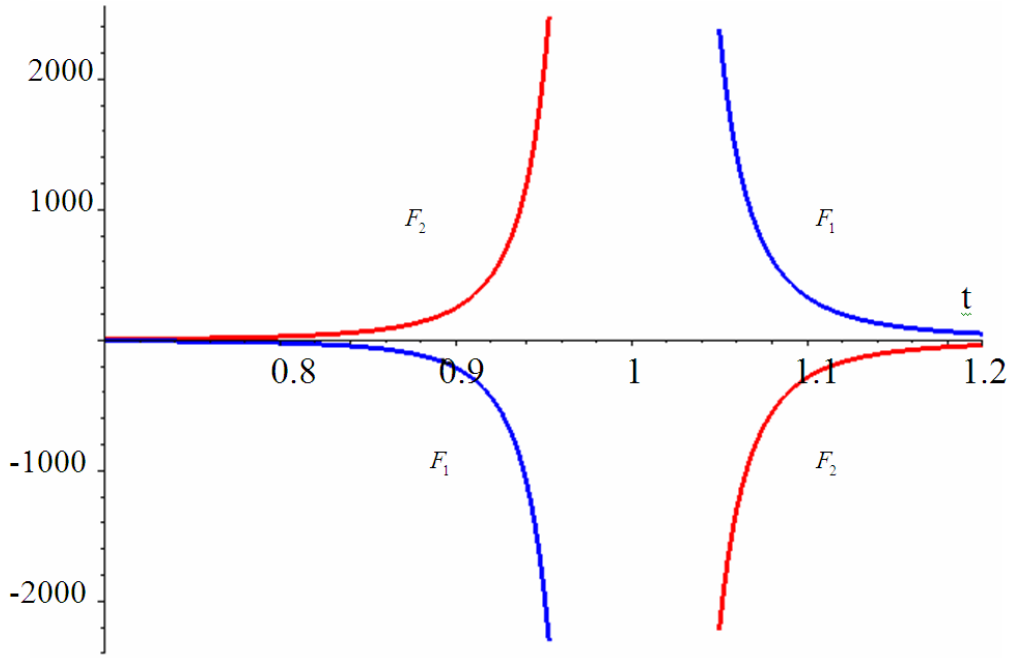


Рис. 2. График изменения F_1, F_2 в зависимости от t

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Натансон, И. П. Теория функций вещественной переменной [Текст] / И. П. Натансон. – М.: Гос. изд-во технико-теорет. лит-ры., 1957. – 552 с.
2. Ван дер Варден, Б. Л. Алгебра [Текст] / Б. Л. Ван дер Варден. – М.: Наука, 1976. – 388 с.
3. Шилов, Г. Е. Математический анализ. Специальный курс [Текст] / Г. Е. Шилов. – М.: Физматгиз, 1960. – 388 с.
4. Лебег, А. Интегрирование и отыскание примитивных функций [Текст] / А. Лебег. – М.: ГТТИ, 1934. – 324 с.
5. Босов, А. А. Функции множества и их применение [Текст] / А. А. Босов. – Днепродзержинск: Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.

Поступила в редколлегию 14.06.2010.
Принята к печати 23.06.2010.

УДК 656.222.3

А. А. БОСОВ, Ю. В. ЧИБИСОВ (ДІІТ)

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ РУХУ ПОЇЗДІВ НА МЕРЕЖІ ДОРІГ

Запропоновано використання мультиграфів у раціональному розподілі поїздопотоків як задачі векторної оптимізації.

Предложено использование мультиграфов в рациональном распределении поездопотоков как задачи векторной оптимизации.

There was suggested the use of multigraphs in the rational distribution of trainflows as a task of vector optimization.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі формування раціональних композицій составів вантажних поїздів на підставі векторної оптимізації з метою задоволення попиту замовників з перевезень вантажу залежно від час руху та затрат механічної роботи при русі поїздів.

Мета роботи полягає у визначенні оптимальних маршрутів руху та розподілення поїздопотоків по цим маршрутам між відповідними пунктами.

Класична транспортна задача полягає у визначення обсягів перевезень від постачальників до споживачів, щоб транспортні витрати були мінімальними.

Основні недоліки транспортної задачі:

– завдання вирішується для однорідного вантажу;

– не враховується пропускна спроможність перегонів.

Пропонується перейти від вантажів до поїздів і розглядати поїздопотік.

Метою даної роботи є реалізація математичної моделі визначення простих, допустимих маршрутів та формування раціональних композицій составів вантажних поїздів по маршрутам на підставі векторної оптимізації.

Обмеження. Враховується пропускна спроможність колій та заданий поїздопотік на мережі залізниці.

Розподіл поїздопотоку по мережі будемо оцінювати за допомогою бінарного відношення Парето, яке визначається за допомогою вектора, компоненти якого – час руху та витрати механічної роботи.

Предметною областю задачі є мережа залізниці з n станцій. В задачі враховано особливість перегону, між двома сусідніми станціями. Перегін може містити в собі від однієї до трьох колій, відповідно кожна колія матиме свою характеристику:

– напрям руху;

– середній час руху поїзда;

– пропускна спроможність поїздів за певний період часу;

– затрати механічної роботи одного поїзда при русі по колії.

У даній задачі моделлю мережі залізниці є мультиграф [1, 2] (рис. 1). Мультиграф – це граф, в якому між двома заданими вершинами може бути декілька дуг. Дуги, що з'єднують одну й ту ж пару вершин, прийнято називати паралельними. Мультиграф будемо задавати наступним чином – $G(V,E)$, де V – пункти мережі, тобто станції, E список дуг (відповідні колії) між пунктами.

Вихідні дані та їх позначення:

e_n – дуга, $e_n \in E$;

$t(e_n)$ – час руху поїзда по дузі e_n;

$r(e_n)$ – механічна робота поїзда по дузі e_n;

$l(e_n)$ – довжина дуги e_n;

$N(e_n)$ – пропускна спроможність дуги e_n.

Вхідною інформацією є задані поїздопотоки на графі $G(V,E)$ – P_{ij} $i,j \in V$, відповідно з вершини i в j – парний напрям та навпаки з j в i – непарний напрям.

Нехай W_{ij} є набором простих шляхів з i у j, а $\omega = \{e\}$ – деякий простий шлях з W_{ij}.

Позначимо через $X_{ij\omega}$ частину потоку P_{ij}, який реалізується на шляху ω, тоді має місце:

$$\sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} = P_{ij} \quad i = \overline{1,n-1},\ i+1 \le j \le n. \qquad (1)$$

© Босов А. А., Чибисов Ю. В., 2010

Введемо індикатор дуги e на шляху ω, тобто

$$I_\omega(e) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } e \in \omega; \\ 0, & \text{якщо } e \notin \omega, \end{cases}$$

тоді сумарний потік по дузі e для набору шляхів W_{ij} складе

$$\sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} \cdot I_\omega(e). \qquad (2)$$

Загальний потік по даній дузі e буде дорівнювати

$$N(e) = \sum_{i,j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} \cdot I_\omega(e);\ e \in E. \qquad (3)$$

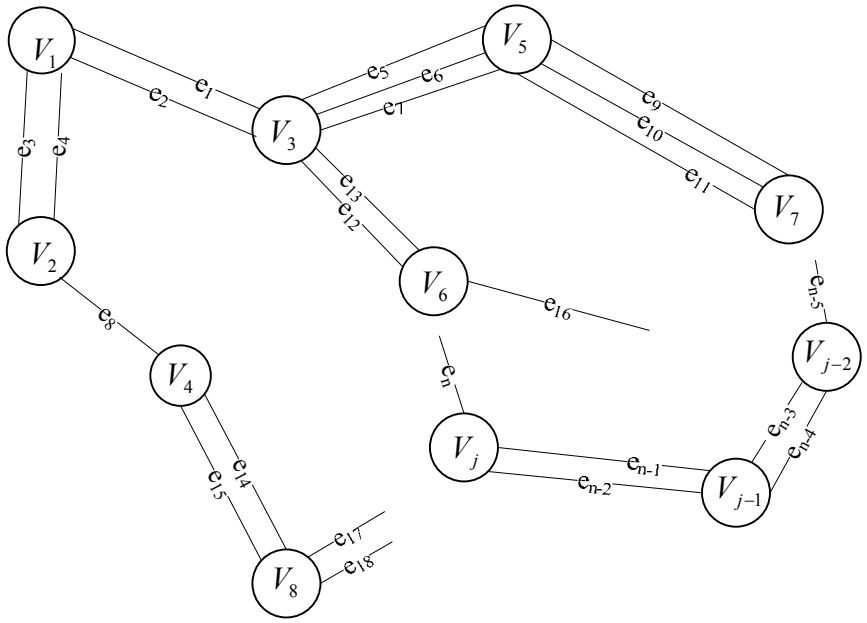


Рис. 1. Модель мережі залізниці

Якщо $\bar{N}(e)$ – максимально допустимий потік для дуги e, то повинно виконуватися обмеження по пропускній спроможності

$$N(e) \le \bar{N}(e),\ e \in E. \qquad (4)$$

Якщо покласти $T(\omega)$ – час руху поїзда по шляху ω, $T(\omega) = \sum_{e \in \omega} t(e)$, де $t(e)$ – час руху по дузі e, то величина

$$Pt = \sum_{i,j \in V} \sum_{\omega \in W_{ii,j}} X_{ijw} \cdot T(\omega) \qquad (5)$$

характеризує витрати часу на реалізацію поїздопотоку P_{ij} $(i, j \in V)$ на графі $G(V, E)$.

Позначимо $R(w)$ – затрати механічної роботи поїзда по шляху ω, $R(\omega) = \sum_{e \in \omega} r(e)$, де $r(e)$ – затрати механічної роботи по дузі e, тоді величина

$$Pr = \sum_{i,j \in V} \sum_{\omega \in W_{ii,j}} X_{ijw} \cdot R(\omega) \qquad (6)$$

представлятиме собою також оцінку механічної роботи при реалізації потоків P_{ij} $i, j \in V$, на графі $G(V, E)$.

Введемо позначення E_* – набір ребер, які були використані для побудови набору простих шляхів між усіма вершинами. Тобто має місце завдання: визначити такий розподіл потоків, щоб показники Pt, Pr були якомога меншими, і виконувалися умови (1) і (4).

Іншими словами приходимо до задачі векторної оптимізації [3 – 7]

$$\begin{pmatrix} Pr(E_*) \\ Pt(E_*) \end{pmatrix} \to \min \qquad (7)$$

за умов $X_{ijw} \ge 0$, (1) і (4).

Рішення даної задачі дозволяє значно скоротити число всіляких варіантів розв'язків і допомогти особі, що приймає рішення, серед незрівнянних за Парето варіантів вибрати раціональний.

Декомпозиція задачі

При розв'язанні задачі з визначення оптимальних маршрутів руху поїздопотоків виникає необхідність розбиття задачі на окремі підзадачі.

Декомпозиція задачі на підзадачі полегшить реалізацію головного завдання.

У даному випадку можна виділити такі основні підзадачі:

– побудова всіх простих допустимих маршрутів між станціями;

– розподілення поїздопотоку по отриманих маршрутах.

При цьому кожна підзадача може складатися з окремих простіших підзадач.

Вихідні дані

Для задачі з визначення оптимальних маршрутів руху поїздопотоків вихідними даними є:

– назва станції в текстовому форматі;

– назви двох суміжних станцій;

– номер колії між двома сусідніми станціями – число від 1 до 3;

– напрям руху по колії – парний чи непарний;

– пропускна спроможність колії (поїздів за добу);

– середній час руху по колії (хв);

– затрати механічної роботи поїзда при русі по колії (МДж).

Результати

Результатами, які отримає користувач при розрахунку маршрутів та розподілу по них поїздопотоку, є:

– список оптимальних маршрутів та значення поїздопотоку, який реалізується на кожному з маршрутів;

– залежність часу руху від затрат механічної роботи у вигляді графіка для заданої ділянки залізниці та поїздопотоку, що реалізується на ній;

– таблиця з навантаження на кожну колію, вказаний номер колії та кількість поїздів, що проїде по ній.

Побудова економіко-математичної моделі

У сучасних умовах ринкової економіки основним напрямком стабілізації вантажного комплексу є створення нової системи організації управління його господарською діяльністю, а головними завданнями цієї системи повинні бути комплексне управління витратами, глибоке і постійне вивчення ринку перевезень і запитів контрагентів на перевезення вантажу. Така система поряд з задоволенням запитів споживачів послуг дозволить забезпечувати отримання від даного виду діяльності максимального прибутку і зниження собівартості перевезень.

Задача з визначення оптимальних маршрутів руху та розподілення поїздопотоків по цих маршрутах між відповідними пунктами представлена у вигляді задачі векторної оптимізації за двома параметрами – час руху ($Pt(x)$) та робота з переміщення поїзда ($Pr(x)$). Кожен з показників бажано зробити якомога меншим, формальний запис цієї вимоги представляє собою:

$$\begin{pmatrix} Pr(x) \\ Pt(x) \end{pmatrix} \to \min ,$$

на значення x накладається певна умова, наприклад, $x \in X \subseteq R_n$ та $x \geq 0$.

Припустимо:

$$y_1(x) = Pr(x) ;$$

$$y_2(x) = Pt(x) ,$$

отримуємо можливість відобразити множину X в множину $Y \subseteq R_2$ і вихідну задачу сформулювати у вигляді:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} \to \min \qquad (8)$$

за умови $y \in Y$. Задача (8) є задачею векторної оптимізації [7, 8].

Найважливішим інструментом розв'язання багатокритеріальних задач є принцип Еджворта-Парето (принцип Парето), який стали успішно застосовувати ще в XIX ст. Проте до самого недавнього часу цей принцип не був чітко сформульований. Принцип Еджворта-Парето має цілком певні межі застосування та його використання при вирішенні деяких завдань ризиковано або ж взагалі неприпустимо.

Для того щоб сформулювати принцип Еджворта-Парето, постановку звичайної багатокритеріальної задачі, що включає безліч можливих рішень і набір критеріїв (векторний критерій), необхідно доповнити бінарним відношенням уподобання особи, що приймає рішення (ОПР). Розширена подібним чином багатокритеріальна задача названа задачею багатокритеріального вибору. Її рішення полягає у відшуканні так званої множини вибраних рішень, яка може складатися з одного елемента, але, в загальному випадку, вона є підмножиною множини можливих рішень.

У рамках розглянутої моделі багатокритеріального вибору принцип Еджворта-Парето може бути сформульований у вигляді твердження

про те, що множина вибраних рішень міститься в множині Парето. Інакше кажучи, кожне вибране рішення є Парето-оптимальним. Математичний еквівалент цього висловлювання – включення однієї множини в іншу. Для того щоб довести це включення, слід певним чином обмежити весь клас задач багатокритеріального вибору, наклавши спеціальні вимоги, теореми чи аксіоми.

Застосування принципу Еджворта-Парето дозволяє з множини всіх можливих рішень виключити свідомо неприйнятні рішення, тобто ті, які ніколи не можуть виявитися обраними, якщо вибір здійснюється досить «розумно». Після такого вилучення залишається множина, яку називають множиною Парето або областю компромісів. Вона, як правило, є досить широкою, і в процесі прийняття рішень неминуче постає питання про те, яке саме рішення можливо вибрати серед Парето-оптимальних. Кажучи інакше, які з Парето-оптимальних рішень слід видалити для того, щоб провести подальше звуження області компромісів і, тим самим, отримати більш точне уявлення про шукану множину вибраних рішень. Це питання при вирішенні практичних багатокритеріальних задач є найбільш важким і найменш опрацьованим.

Отже розв'язком задачі (8) векторної оптимізації є така множина Y_*, що всі її точки незрівнянні за Парето.

В статті [11] запропонований та описаний метод розв'язку даної задачі векторної оптимізації двох змінних.

Нехай K – конус, вершина якого знаходиться в точці $y_* \in Y_*$, причому для будь-якого $y \in K$ виконується умова

$$\begin{cases} y_1 \le u_1 \cdot t; \\ y_2 \le u_2 \cdot t, \end{cases}$$

де u_1, u_2 – компоненти одиничного вектора u, такого що

$$\begin{cases} y_{1*} = u_1 \cdot t; \\ y_{2*} = u_2 \cdot t, \end{cases}$$

тоді має місце

$$K \bigcap Y = \{y_*\}. \qquad (9)$$

Умова (9) є необхідною і достатньою, щоб y_* належав розв'язку задачі (8).

Геометрична інтерпретація умови (9) дана на рис. 2.

Надалі будемо припускати, що множина Y задається наступним чином:

$$Y = \{y \in R_2 : h_i(y) \le 0, i = \overline{1,k}\}. \qquad (10)$$

Нехай $y(1)$ є розв'язок задачі

$$y_1 \to \min,$$

за умови $y \in Y$, а $y(2)$ за цієї ж умови є розв'язок задачі $y_2 \to \min$.

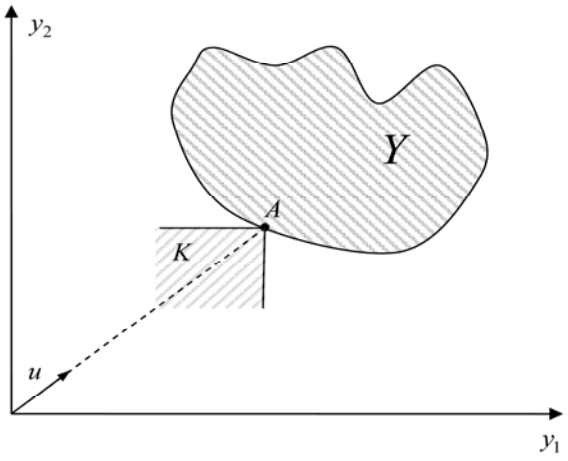


Рис. 2. Геометрична інтерпретація умови (9)

Далі перенесемо початок координат в точку 0_1, в якості осей координат візьмемо 0_1A_1 та 0_1A_2, тоді область $Y \in K_0$ (рис. 3). У цій системі координат має місце відображення «старих» координат через «нові» $\tilde{y}_1$ і $\tilde{y}_2$

$$\begin{cases} y_1 = \tilde{y}_1 + y(1); \\ y_2 = \tilde{y}_2 + y(2). \end{cases} \qquad (11)$$

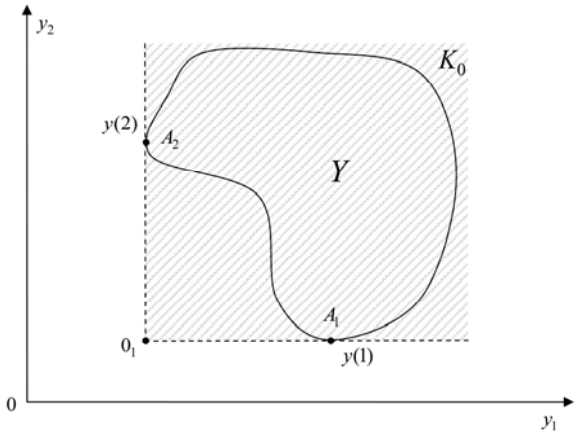


Рис. 3. Геометрична інтерпретація розв'язання задач $y_1 \to \min$; $y_2 \to \min$

Вектор з компонентами $(\tilde{y}_1, \tilde{y}_2)$ будемо позначати через (y_1, y_2), що еквівалентно допущенню, зміст якого очевидний з рис. 4.

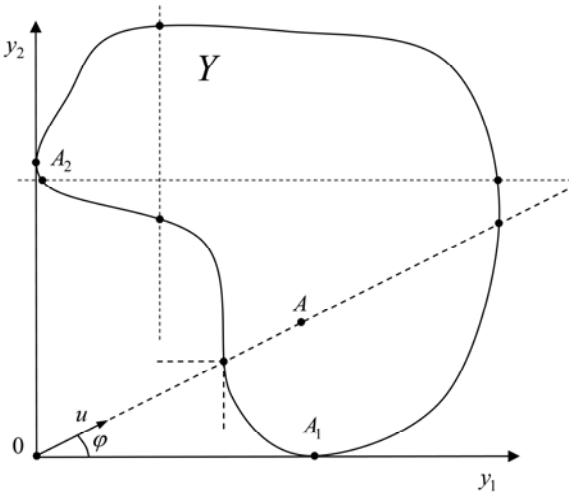


Рис. 4. Геометричне уявлення області після перетворення

Нехай вектор u має координати

$$\begin{cases} u_1 = \cos\varphi, \\ u_2 = \sin\varphi, \end{cases} \quad 0 \le \varphi \le \frac{\pi}{2},$$

а точка A, що лежить на промені, що породжується вектором u, має координати

$$\begin{cases} y_{1A} = u_1 \cdot t; \\ y_{2A} = u_2 \cdot t, \end{cases} \quad 0 \le t.$$

Введемо функцію $H(y)$, яка визначається за формулою

$$H(y) = \max_{1 \le i \le k} \{h_i(y)\}. \qquad (12)$$

Зауважимо, що має місце

$$H(y) = \begin{cases} > 0, \text{ якщо } y \notin Y; \\ < 0, \text{ якщо } y \in Y; \\ = 0, \text{ якщо } y \in \text{ границі } Y. \end{cases}$$

Задавши кут φ, розглянемо задачу

$$L = t \to \min. \qquad (13)$$

за умови

$$H(u \cdot t) = 0.$$

Нехай t_* є рішенням задачі (13), тоді має місце наступна теорема.

Теорема 1. Якщо множина Y випукла, то цього достатньо, щоб точка $y = u \cdot t_*$ належала Y_* [11].

Зауважимо, що задача (13) дозволяє визначати точку y_* і для невипуклої області Y, якщо вона задовольняє умові, що накладається на область, яку позначимо як умова (14).

Суть умови (14) описується, використовуючи рис. 4.

1. Будь-яка вертикальна лінія, що має перетин з кордоном Y, має точку, у якої друга компонента (y_2) мінімальна і не перевершує другу компоненту точки A_2.

2. Будь-яка горизонтальна лінія, що має перетин з кордоном Y, має точку, у якої перша компонента (y_1) мінімальна і не перевершує першу компоненту точки A_1.

Або в математичних термінах:

Нехай $\min y_2$ – мінімальна друга компонента точок перетину вертикальної прямої з межею області Y, а $\min y_1$ – мінімальна перша компонента точок перетину горизонтальної прямої з межею області Y, тоді умову (14) можна сформулювати у вигляді

$$(\min y_1, \min y_2) \notin Y, \ (\min y_1, \min y_2) \in K_0. \qquad (14)$$

Конус K_0 містить в собі область Y.

Розглянемо приклад для лінійної задачі векторної оптимізації.

Дане завдання для двох показників має вигляд

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} \to \min$$

за умови

$$Ay \le b; \ y \ge 0.$$

Оскільки область в даній постановці представляє собою випуклу множину, то може бути застосована теорема 1, і приходимо до задачі типу (13).

$$L = t \to \min, \ Au \cdot t - b \le 0.$$

У задачі (13) введено вектор, що дозволяє будувати конус і користуватися необхідною і достатньою умовою (9).

На підставі викладеного можна зробити висновок:

– якщо множина Y задовольняє умові (14), то визначення множини Парето Y_* зводиться до послідовності рішення задач типу (13);

– якщо множина Y не задовольняє умові (14), то вирішуючи послідовність задач (13), отримаємо множину $\tilde{Y}$, яка містить в собі Y_*.

Отже маємо задачу векторної оптимізації, задану в наступному вигляді (рис. 5):

$$\begin{pmatrix} L1 \\ L2 \end{pmatrix} \to \min . \qquad (15)$$

В якій $L1$ та $L2$ витрати часу та механічної роботи відповідно, при

$$L1 = \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} t(w) X_{ijw} ;$$

$$L2 = \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} m(w) X_{ijw} ,$$

де $t(w)$ – час руху по шляху w, та $m(w)$ – витрати механічної роботи по шляху w, та за умов $X_{ijw} \ge 0$,

$$\sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} = P_{ij} \quad i = \overline{1, n-1} , \; i+1 \le j \le n$$

та обмеження за пропускною спроможністю

$$N(e) \le \bar{N}(e) , \; e \in E ,$$

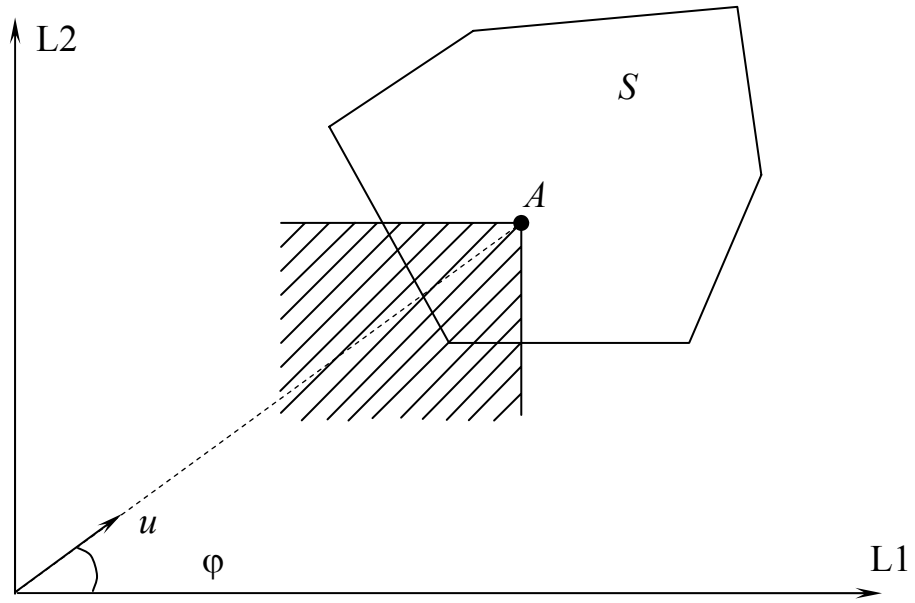


Рис. 5. Геометрична інтерпретація задачі (15)

де $N(e) = \sum_{i,j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} \cdot I_{\omega}(e) ; \; e \in E$

можемо сформулювати алгоритм розв'язку.

Геометрична інтерпретація задачі (15) в просторі функціоналів.

Необхідна та достатня умова оптимальності за Парето:

$$KP(A) \cap S = \{A\} ,$$

де $A = u \cdot t$, $t - \min$.

Алгоритм:

П1. Вирішується задача:

$$L1 \to \min$$

за умови $w \in DW_{ij}$, DW_{ij} – набір простих, допустимих шляхів.

П2. Вирішується задача:

$$L2 \to \min$$

за умови $w \in DW_{ij}$.

П3. За $L1 - \min$ і $L2 - \min$ визначається інтервал $\left[\underline{\varphi}, \bar{\varphi}\right]$ зміни кута φ.

П4. Для кожного $\varphi \in \left[\underline{\varphi}, \bar{\varphi}\right]$ з кроком $\Delta\varphi$ вирішується завдання

$$t - \min$$

за умов (14), (15), поповнених нерівностями $L1 \le u_1 t$; $L2 \le u_2 t$; $u = [u_1, u_2]$ – одиничний вектор.

П5. Будується залежність $L1$ від $L2$ і друкується рішення Парето.

Змінні x_{ijw} визначають ту кількість поїздів, яку потрібно пропустити по маршрутах.

Також користувач отримує зображення у вигляді графіка залежності затрат часу від виконаної механічної роботи поїздів у масштабах всієї дільниці.

З економічної точки зору цю інформацію можна використовувати при встановленні тарифів на перевезення вантажів. Для кожного значення часу доставки вантажів, який буде

влаштовувати замовника, можливо отримати значення величини виконаної механічної роботи і відповідно встановити тариф. А також розрахувати маршрути руху при заданому часі та композицію составів вантажних поїздів.

Це дасть змогу якнайкраще задовольнити попит контрагентів залізниці з перевезення вантажів.

Приклад. Розглядається мережа, що складається з п’яти станцій і перегонів, наведених на рис. 6.

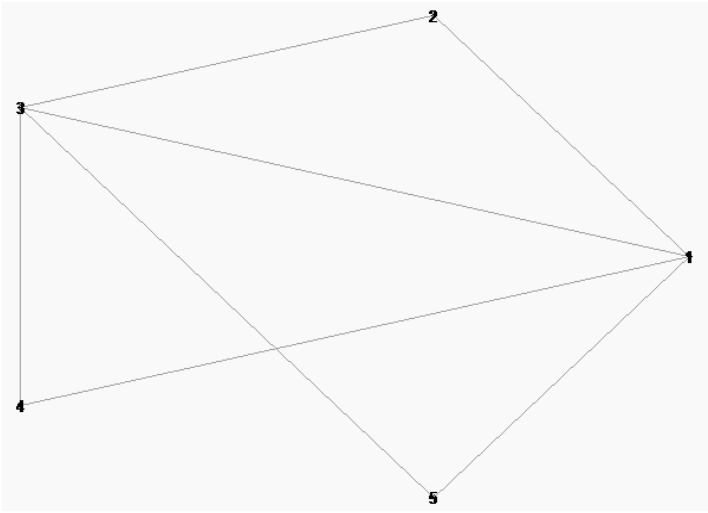


Рис. 6. Граф мережі залізниць

Характеристика мережі:

```
> N:=5:
> new(G):
VG:=addvertex(1,2,3,4,5,G);
EG:=addedge([{1,2},{3,2},{4,3},{1,3},{3,5},{1,5},{1,4}],weights=[[4,7]
,[6,4],[2,10],[5,4],[1,20],[4,3],[3,3]],G);
draw(G);
```

$$VG := 1,2,3,4,5$$

$$EG := e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7$$

Обмеження за пропускною спроможністю перегонів

$N_{\max\_туда} := [120,220,220,150,121,220,220]$

```
> Pp:=matrix(N,N,[0,0,0,23,21, 10,0,8,0,17, 20,8,0,5,40, 7,16,5,0,11,
0,17,40,0,0]);
```

Потік пасажирських поїздів.

$$Pp := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 23 & 21 \\ 10 & 0 & 8 & 0 & 17 \\ 20 & 8 & 0 & 5 & 40 \\ 7 & 16 & 5 & 0 & 11 \\ 0 & 17 & 40 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

```
> Q:=matrix(N,N,[0,10,0,22,20, 10,0,9,0,13, 20,8,0,5,41, 7,16,5,0,12,
3,15,42,0,0]);
```

Потік вантажних поїздів.

$$Q := \begin{bmatrix} 0 & 10 & 0 & 22 & 20 \\ 10 & 0 & 9 & 0 & 13 \\ 20 & 8 & 0 & 5 & 41 \\ 7 & 16 & 5 & 0 & 12 \\ 3 & 15 & 42 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

> **ff:=50;** Кут між вектором U та віссю $Pr1$.

$$ff := 50$$

Розподіл пасажирських і вантажних поїздів

> **XP:=Rasp_potok(N,G,E,Nmax_туда,u1,u2,Pp,Q);**

Показники раціональності розподілу поїздопотоків:

$$Pr1 = 1450,727;$$
$$P1 = u1 \cdot T;$$
$$1450,727;$$
$$Pr2 = 1728,943;$$
$$P2 = u2 \cdot T;$$
$$1728,943$$

$$XP := \left\{ \begin{array}{llll} y_{3,5,2} = 41,0; & y_{2,3,1} = 8,0; & y_{3,5,1} = 17,53; & y_{4,5,1} = 12,0; \quad y_{3,4,1} = 5,0; \\ y_{1,4,1} = 23,0; & t = 2256,96; & y_{3,5,2} = 22,47; & y_{3,4,1} = 5,0; \quad y_{2,5,1} = 13,0; \\ y_{4,5,1} = 11,0; & y_{1,5,1} = 20,0; & y_{2,3,1} = 9,0; & y_{1,4,1} = 22,0; \quad y_{1,2,1} = 10,0; \\ y_{2,5,1} = 17,0. & & & \end{array} \right\}$$

Розподіл поїздопотоків по простих шляхах

Поїздопотік

Поездопоток $y_{3,5,2} = 41.00000000$ по пути $[e4, e6]$

Поездопоток $x_{2,3,1} = 8.00000000$ по пути $[e2]$

Поездопоток $x_{3,5,1} = 17.53405840$ по пути $[e5]$

Поездопоток $y_{4,5,1} = 12.00000000$ по пути $[e7, e6]$

Поездопоток $x_{3,4,1} = 5.00000000$ по пути $[e3]$

Поездопоток $x_{1,4,1} = 23.00000000$ по пути $[e7]$

Поездопоток $x_{3,5,2} = 22.46594161$ по пути $[e4, e6]$

Поездопоток $y_{3,4,1} = 5.00000000$ по пути $[e3]$

Поездопоток $y_{2,5,1} = 13.00000000$ по пути $[e1, e6]$

Поездопоток $x_{4,5,1} = 11.00000000$ по пути $[e7, e6]$

Поездопоток $y_{1,5,1} = 20.00000000$ по пути $[e6]$

Поездопоток $x_{1,4,1} = 23.00000000$ по пути $[e7]$

Поездопоток $x_{1,5,1} = 21.00000000$ по пути $[e6]$

Поездопоток $y_{2,3,1} = 9.00000000$ по пути $[e2]$

Поездопоток $y_{1,4,1} = 22.00000000$ по пути $[e7]$

Поездопоток $y_{1,2,1} = 10.00000000$ по пути $[e1]$

Поездопоток $x_{2,5,1} = 17.00000000$ по пути $[e1, e6]$

У даному прикладі $\underline{\varphi} = 42$, $\overline{\varphi} = 74$ градуси. У відповідності до алгоритму з кроком у 5 градусів вирішуємо задачі типу (15) і отримуємо варіанти раціонального розподілу поїздопотоків, а значення показників L1 та L2 наведено в наступній таблиці:

Таблиця 1

	φ	*L1*	*L2*
1	42	1639,91	1476,54
2	43	1603,12	1494,94
3	45	1556,71	1556,71
4	50	1450,73	1728,94

Таблиця 1 (закінчення)

5	55	1338,39	1911,49
6	60	1217,23	2108,37
7	65	1084,01	2324,86
8	70	938,00	2579,11
9	73	885,77	2897,36
10	74	865,62	3018,27

Графічне зображення цих результатів наведено на рис. 7.

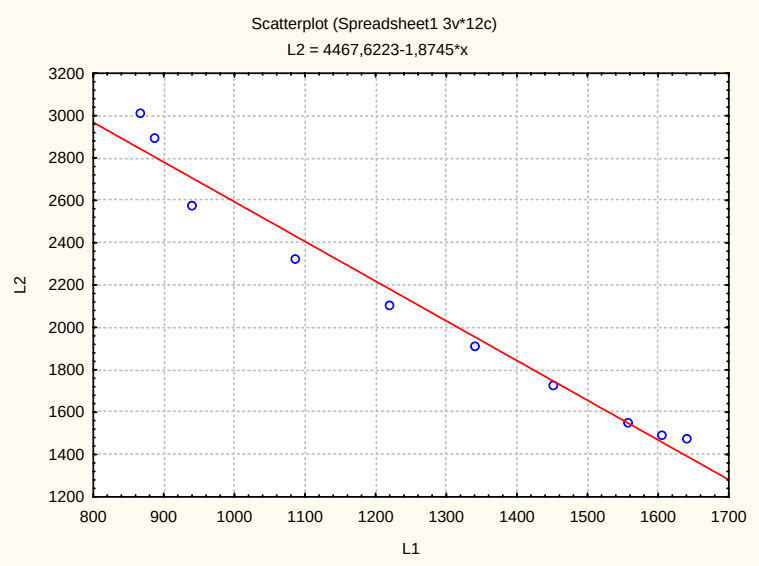


Рис. 7. Взаємозв'язок між показниками

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Андерсон, Дж. А. Дискретная математика и комбинаторика [Текст] / Дж. А. Андерсон; [пер. з англ.]. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 960 с.
2. Березина, Л. Ю. Графы и их применение [Текст]: пособие для учителей / Л. Ю. Березина. – М.: Просвещение, 1979. – 143 с.
3. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный поход [Текст] / В. Д. Ногин. – М.: Физмат, 2002. – 144 с.
4. Соболь, И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями [Текст] / И. М. Соболь, Р. Б. Статников. – М.: Наука, 1981. – 210 с.
5. Поденоский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В. В. Поденоский, В. Д. Ногин. – М.: Наука. Главн. ред. физ.-мат. лит-ры, 1982. – 256 с.
6. Машунин, Ю. К. Методы и модели векторной оптимизации [Текст] / Ю. К. Машунин. – М.: Наука, 1986. – 141 с.
7. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 295 с.
8. Парето-оптимальное моделирование инженерных задач [Текст] / В. И. Седых [и др.] // Комп'ютерний журнал. – 2004. – 22 с.
9. Опис систем МОП, «ДІСО» [Електрон. ресурс] : опис. – Режим доступе: http://www.psi–movi.com
10. Система IOSO NM 1 [Електрон. ресурс] : опис. – Режим доступе: http://www.iootech.com
11. Bosov, A. A. Vector Optimization by Two Objective Junctions [Electron. resource] : description / A. A. Bosov, G. N. Kodola, L. N. Savchenko. – Access Mode: http://arxiv.org/pdf/0708.4307v1

Надійшла до редколегії 12.05.2010.
Прийнята до друку 28.05.2010.

УДК 658.001.63 : 51.001.57

Т. Ф. МИХАЙЛОВА, М. С. КАРАВАЄВА (ДІІТ)

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗШИРЕННЯ ВИРОБНИЦТВА

Побудовано модель ефективного розширення виробництва підприємства за допомогою методів економетричного моделювання та динамічного програмування.

Построена модель эффективного расширения производства предприятия с привлечением методов эконометрического моделирования и динамического программирования.

The model of effective expansion of the enterprise production by using econometric modeling and dynamic programming is built.

В умовах сучасної економіки існує багато підприємств, яким, щоб не втратити позиції на ринку збуту, необхідно розширювати виробничу базу. Розширення виробництва досить складний процес, який потребує детального планування. Запропонована методика допоможе виділити кошти з внутрішніх резервів підприємства та спланувати вкладення їх у розширення виробництва так, щоб прибуток був максимальним.

При розв'язанні задачі планування ефективного розширення виробництва підприємства виникає необхідність розбиття задачі на окремі підзадачі. Декомпозиція задачі на підзадачі полегшить реалізацію головної задачі.

У нашому випадку виділяються такі основні підзадачі: побудова бази даних; побудова виробничих функцій для кожного цеху підприємства; розрахунок необхідної виробничої спроможності кожного цеху окремо; розрахунок плану розширення виробництва підприємства.

Кількість коштів прямо пропорційно залежить від сумарного прибутку підприємства, тому щоб збільшити суму коштів, що виділяються на розширення виробництва, необхідно збільшити прибуток. Прибуток збільшиться внаслідок вкладання ресурсів у ті цехи підприємства, що є найбільш прибутковими.

Для побудови моделі планування ефективного розширення виробництва підприємства необхідно виконати наступні три етапи: побудову виробничих функцій для кожного цеху підприємства на основі статистичних даних про витрати матеріалів, суму амортизаційних відрахувань, фонд заробітної плати з відрахуваннями на соцстрах та іншими відрахуваннями, дохід підприємства за минулі періоди; розподілення ресурсів між цехами підприємства з метою збільшення доходу підприємства, частина якого буде використана для розширення виробництва підприємства; розподілення коштів між цехами підприємства, з метою розширення виробництва підприємства.

Для реалізації першого етапу використано статистичні дані про роботу цехів підприємства за минулі періоди. Ці дані включають в себе: витрати матеріалів, суму амортизаційних відрахувань, фонд заробітної плати з відрахуваннями на соцстрах та іншими відрахуваннями, дохід цеху. Використовуючи метод найменших квадратів побудуємо виробничу функцію кожного цеху окремо.

З відомих в математиці функціоналів всім вимогам виробничої функції відповідає мультиплікативна функція:

$$Y = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3}, \qquad (1)$$

де Y – об'єм виробництва цеху;

X_1 – витрати матеріалів;

X_2 – сума амортизаційних відрахувань;

X_3 – фонд заробітної плати з відрахуваннями на соцстрах та іншими відрахуваннями.

a_0 – коефіцієнт виробничої функції;

a_1, a_2, a_3 – степені виробничої функції.

Числові значення цих величин розраховуються на основі статистичних даних про роботу підприємства. Ці дані беруться з балансів підприємства за минулі періоди.

Для визначення параметрів виробничої функції a_1, a_2, a_3 необхідно перейти від мультиплікативної до адитивної функції. Для цього прологарифмуємо функцію (1):

$$\lg Y^* = \lg a_0 + a_1 \lg X_1 + a_2 \lg X_2 + a_3 \lg X_3. \qquad (2)$$

Щоб визначити значення параметрів a_1, a_2, a_3, було використано функцію «ЛИНЕЙН» пакету EXCEL. Виробничі функції для 3-х цехів підприємства одержані у вигляді

$$y_1 = 28{,}104\, X_1^{0{,}261} X_2^{0{,}471} X_3^{0{,}024};$$

© Михайлова Т. Ф., Караваєва М. С., 2010

$$y_2 = 778{,}882\ X_1^{1{,}395}\ X_2^{1{,}229}\ X_3^{2{,}518};$$

$$y_3 = 10154{,}170\ X_1^{0{,}253}\ X_2^{0{,}085}\ X_3^{0{,}322},$$

де значення Y – це випуск продукції цеху, а X_1, X_2, X_3 – витрати (вартість матеріалів, сума амортизаційних відрахувань, фонд заробітної плати з відрахуваннями на соцстрах та іншими відрахуваннями) за минулі періоди для кожного цеху відповідно.



Рис. 1. Розрахунок виробничих функцій

Перший етап виконується тільки один раз. Розраховані коефіцієнти більш не змінюються.

Дані про випуски та витрати цехів за минулі періоди зберігаються у файлі, в який поступово записується дані з річного балансу підприємства, виражені у грошовому еквіваленті.

Позначимо ресурси, що виділяються *i*-тому цеху, через x_i.

Після визначення виробничих функцій цехів переходимо до другого етапу. Розподілимо сумарні ресурси підприємства Q між цехами так, щоб сумарний дохід підприємства був максимальним. Для цього використаємо метод динамічного програмування.

Кожен цех при вкладенні в нього ресурсів в об'ємі X випускає відповідну кількість продукції згідно його виробничої функції $Y_i(x_i)$.

Будуємо допоміжну таблицю (табл. 1), яка показує залежність доходу цеху від кількості вкладених ресурсів.

Таблиця 1

Залежності доходу цеху від кількості вкладених ресурсів

X	$Y_1(x_1)$	$Y_2(x_2)$	$Y_3(x_3)$

Де в колонці X знаходиться об'єм ресурсів від 0 до Q, а в колонках $Y_i(x_i)$ знаходиться дохід *i*-того цеху, що він отримує при вкладенні в нього відповідної кількості ресурсів x_i.

Операцію розподілення ресурсів можна розбити по цехах. Тобто кожен крок – це виділення ресурсів відповідному цеху. Внаслідок того, що в задачі треба знайти максимальний сумарний дохід підприємства, то, розподіляючи ресурси, необхідно управління на кожному кроці обирати з урахуванням його майбутніх наслідків на тих кроках, що залишилися. Тобто управління на *i*-тому кроці треба обирати не так, щоб дохід саме на цьому кроці був максимальний, а так, щоб максимальним був сумарний дохід на цьому та на всіх наступних кроках.

Основна формула динамічного програмування:

$$\Phi_i(q) = \max\left\{Y_i(x_i) + \Phi_{i-1}(q - x_i)\right\},$$

де q – об'єм ресурсів, що підприємство має перед *i*-тим кроком;

x_i – об'єм ресурсів, що використовується на *i*-тому кроці;

$Y_i(x_i)$ – дохід на *i*-тому кроці;

$\Phi_i(q)$ – оптимальний дохід, тобто сумарний максимальний доход, що ми отримаємо на i-тому кроці та всіх наступних кроках.

Врахувати всі можливі наслідки для кожного кроку практично неможливо, за винятком останнього кроку. Останній крок не має наслідків. Тому необхідно розв'язувати задачу з кінця.

Зробимо припущення, чим закінчиться останній крок (тобто розглянемо всі можливі значення об'ємів ресурсів q перед останнім кроком). Варіантів вибору $X_3(q)$ немає, скільки залишилося ресурсів, всі виділяємо на третьому кроці. Таким чином, $X_3(q) = q$, а оптимальний дохід $\Phi_3(q) = Y_3(q)$.

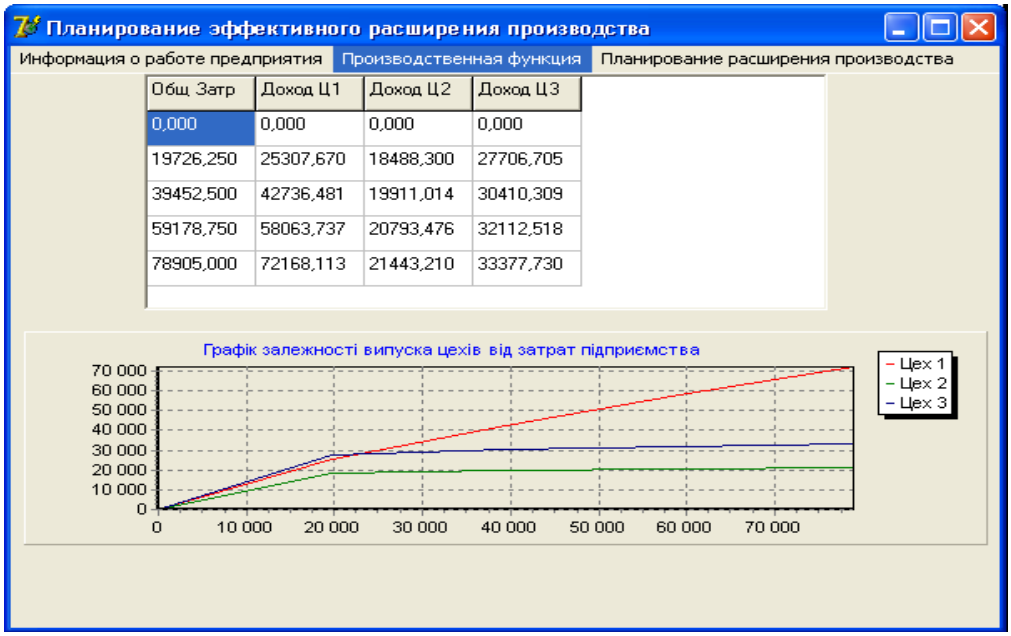


Рис. 2. Залежність доходу цеху від кількості вкладених ресурсів

Для можливих значень q будуємо таблицю.

Таблиця 2

Можливі значення *q*

Q	$i=3$		$i=2$		$i=1$	
	$X_3(q)$	$\Phi_3(q)$	$X_2(q)$	$\Phi_2(q)$	$X_1(q)$	$\Phi_1(q)$

Де q – об'єм ресурсів від 0 до Q, $X(q)$ – ресурси, що виділяються на відповідному кроці та які залежать від кількості ресурсів, що залишилися після попередніх кроків, $\Phi(q)$ – сумарний дохід підприємства на відповідному кроці.

За допомогою основної формули динамічного програмування, що використовується на кожному кроці, отримаємо максимальний дохід підприємства та план розподілення ресурсів, при якому отримуємо цей максимальний дохід.

Після розрахунку доходу переходимо до третього етапу. Розраховуємо отриманий прибуток підприємства за формулою:

$$\Pi = \Phi(q) - \text{В},$$

де Π – прибуток підприємства;

$\Phi_i(q)$ – дохід підприємства;

В – сумарні витрати підприємства. Виходячи з того, що всі витрати йдуть на закупку ресурсів, то $\text{В} = Q$.

Визначимо частину коштів, що виділяються на розширення виробництва підприємства Р:

$$\text{Р} = \Pi b,$$

де b – відсоток коштів, що виділяються на розширення виробництва, від прибутку підприємства (розмір відсотку визначається на основі внутрішньої політики підприємства).

Щоб визначити, наскільки треба збільшити виробництво підприємства для того, щоб отримати відповідний дохід, треба всі кошти, що виділяються на розширення виробництва, витратити на закупку ресурсів. Тобто ці кошти підсумовуються з коштами, що йдуть на закупку ресурсів, а потім за допомогою методу динамічного програмування, що був розглянутий вище, розподіляються між цехами, при цьому не враховуємо максимальну виробничу спроможність цехів.

Цей процес циклічно повторюється, доки не отримаємо необхідний дохід, причому з кожним повторенням збільшується об'єм ресурсів, що розподіляється між цехами.

Після отримання необхідного прибутку, дивимось, яким цехам і на скільки треба розширити виробництво. Збільшити виробничу спро-

можність цеху – це значить збільшити споживання цехом ресурсів. Щоб визначити, наскільки треба розширити виробництво цеху, треба отримати різницю між кількістю ресурсів, що цех використовує для отримання відповідного доходу, та максимальною виробничою спроможністю цеху. Якщо різниця від'ємна, то цех не потребує розширення виробництва. При додатній різниці вводиться, як екзогенний параметр, сума коштів, що необхідно витратити для того, щоб збільшити виробничу спроможність цеху до потрібного рівня.

Після цього повторюються всі дії по розподілу ресурсів, але враховуємо максимальну виробничу спроможність цеху. Якщо деякий з цехів досяг своєї максимальної виробничої спроможності, то кошти на розширення виробництва, на які закупалися додаткові ресурси, сумуються, доки не отримаємо суму коштів, що необхідна для збільшення виробничої спроможності цеху.

В даній моделі не враховується час, що необхідний підприємству на проведення розширення, тому при накопичені цехом коштів, що потрібні для розширення виробництва, він одразу починає працювати зі збільшеним виробничим потенціалом.

Розподілення ресурсів проводиться один раз на відповідний період. Таким чином можна визначити кількість періодів, що необхідна для розширення виробництва.

Вихідними даними моделі є час, який необхідний для отримання коштів на розширення виробництва (рік); план розподілення ресурсів (рис. 3); кошти, що витратили на розширення виробництва підприємства (грн); вихідний документ у графічному форматі (див. рис. 3).

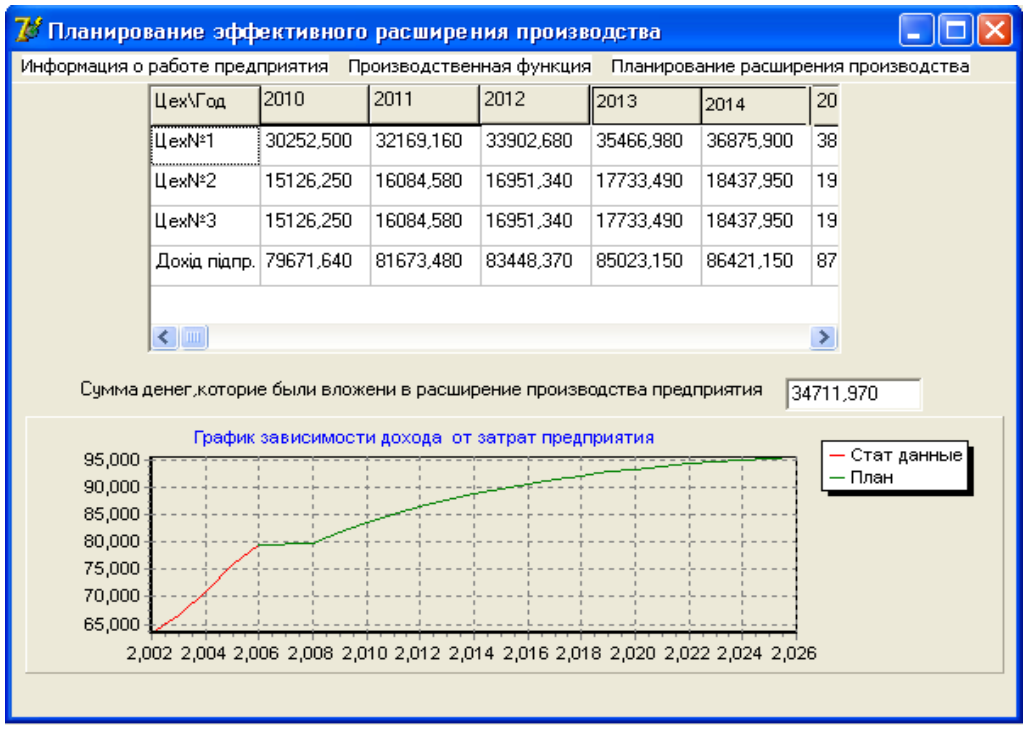


Рис. 3. План розподілення ресурсів підприємства між цехами, графік роботи доходу підприємства по роках

Розробка може застосовуватись у відділі прогнозування та планування підприємства, дозволить швидко отримувати план роботи по розширенню виробництва, при якому час, необхідний для накопичення коштів на розширення, мінімізується.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Єріна, А. М. Статистичне моделювання та прогнозування [Текст] / А. М. Єріна. – К.: КНЕУ, 2001. – 227 с.
2. Марюта, А. Н. Экономико-математическое моделирование и оптимизация управления организациями [Текст] / А. Н. Марюта, Н. Е. Бойцун. – Д.: ДНУ, 2001. – 535 с.

Надійшла до редколегії 17.02.2010.
Прийнята до друку 25.02.2010.

УДК 656.212.5

О. А. НАЗАРОВ (ДІІТ)

ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВАГОНІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЯХ

Використання систем квазібезперервного регулювання швидкості вагонів на сортувальних коліях сприяє покращенню показників якості заповнення сортувальних колій вагонами. Показники якості заповнення сортувальних колій вагонами характеризують різни боки процесу заповнення і є незрівняними між собою. Тому запропоновано методику визначення найкращих параметрів системи за допомогою техніко–економічного порівняння варіантів.

Использование систем квазинепрерывного регулирования скорости вагонов на сортировочных путях способствует улучшению показателей качества заполнения сортировочных путей вагонами. Показатели качества заполнения сортировочных путей вагонами характеризуют разные стороны процесса заполнения и являются несравнимыми между собой. Поэтому предложена методика определения наилучших параметров системы посредством технико–экономического сравнения вариантов.

The use of systems of the quasi–continuous adjusting the wagon speed on the marshalling tracks contributes to the improvement of indices of occupation quality of marshalling tracks with wagons. These indices characterize different sides of the occupation process and are incomparable among themselves. Therefore the technique for determination of the best parameters of the system by means of technical–economic comparison of variants is offered.

Закордонний досвід свідчить про те, що існують технології і технічні засоби за допомогою яких на гіркових сортувальних станціях можна досягти гарантованого розділення відчепів на розділових стрілочних переводах спускної частини гірки та безпечного і повного заповнення вагонами колій накопичення сортувальних парків.

На сортувальних станціях залізниць світу поширюється використання точкових домкратовидних пристроїв регулювання швидкості вагонів. Послідовно встановлені по маршруту скочування відчепів ці пристрої утворюють систему розподіленого регулювання швидкості відчепів. Система здатна автоматично підтримувати швидкість руху відчепів на заданому рівні. Застосування таких систем дозволяє мінімізувати вплив на процес скочування випадкових (недетермінованих і детермінованих) чинників. Система працює автономно.

Перш ніж впроваджувати систему розподіленого регулювання швидкості на станції, необхідно розрахувати її параметри. Основними параметрами системи є схема розташування точкових засобів на спускній частині сортувальної гірки і на сортувальних коліях, а також швидкість, на підтримування якої вони налаштовані. Ці параметри тісно зв'язані з параметрами конструкції сортувальної гірки і сортувальних колій, тобто залежать від їх профілю і плану колійного розвитку.

Необхідно врахувати, що пристрої можна встановлювати тільки між шпалами або перевідними брусами поза межами гостряків і хрестовин стрілочних переводів, а також поза межами стаціонарних гальмових позицій, обладнаних балочними вагонними уповільнювачами.

План і профіль існуючих сортувальних гірок запроектовані з урахуванням реалізації принципу інтервального та прицільного гальмування відчепів на стаціонарних гальмівних позиціях, обладнаних балочними вагонними уповільнювачами. Для того, щоб забезпечити розділення відчепів на розділових стрілочних переводах під час розпуску за допомогою системи розподіленого регулювання швидкості, необхідною є реконструкція профілю і плану колійного розвитку гіркової горловини сортувальної гірки. Для забезпечення розділення відчепів з використанням гальмових пристроїв точкового типу є можливість скоротити довжину гіркової горловини. Розташовані по маршруту скочування відчепів точкові засоби регулювання швидкості покликані підтримувати однакову швидкість скочування всіх відчепів, за рахунок чого вирівнюються інтервалі між суміжними відчепами, що послідовно скочуються з гірки. Задля чого профіль спускної частини гірки потрібно проектувати за іншою методикою [1].

Таким чином, обладнання спускної частини сортувальної гірки системою розподіленого регулювання швидкості відчепів потребує до-

© Назаров О. А., 2010

корінної реконструкції плану і профілю сортувальної гірки, що потребує значних витрат.

Інша справа обладнати пристроями регулювання швидкості вагонів точкового типу сортувальні колії. На сортувальних коліях менше обмежень на розташування точкових пристроїв регулювання швидкості відчепів. Розташовувати точкові засоби для підтримування швидкості скочування відчепів в безпечних межах можна по всій довжині сортувальної колії. Щільність встановлення таких засобів залежить від ходових властивостей відчепів, що накопичуються на колії, та від уклону колії.

Система розподіленого регулювання швидкості відчепів, насамперед, характеризується щільністю розташування сповільнювачів, контрольною швидкістю, на яку вони налаштовані, та уклоном сортувальної колії.

Для аналізу можливості поліпшення якості заповнення сортувальних колій вагонами за рахунок обладнання сортувальних колій системою розподіленого регулювання швидкості вагонів та дослідження залежності показників якості заповнення сортувальних колій від параметрів системи за умов відсутності таких засобів в Україні використовувалась математична імітаційна модель заповнення вагонами сортувальних колій.

На рис. 1 наведено розрахункову схему рішення рівняння руху відчепа по сортувальній колії, яка обладнана системою розподіленого регулювання швидкості вагонів. Всі відчепи, що скочуються з сортувальної гірки на колію накопичення, гальмують на парковій гальмової позиції.

Використання регульованої паркової гальмової позиції необхідно для того, щоб загальмувати всі відчепи до контрольної швидкості, на яку налаштовані точкові засоби регулювання швидкості вагонів. Цю функцію не можна залишити точковим засобам, установленим з великою щільністю, оскільки різко зростає ймовірність нерозділення відчепів на останніх розділових стрілочних переводах спускної частини гірки у зв'язку з тим, що швидкість довгих легких відчепів швидко знижується за рахунок гальмування передніх осей відчепа, в той час як останні осі ще не звільнили останній розділовий елемент. Оператор паркової гальмової позиції може загальмувати будь-які осі відчепа залежно від оперативної обстановки, що складається в процесі розпуску состава, і не починати гальмувати відчеп, поки той не звільнить останній розділовий стрілочний перевід.

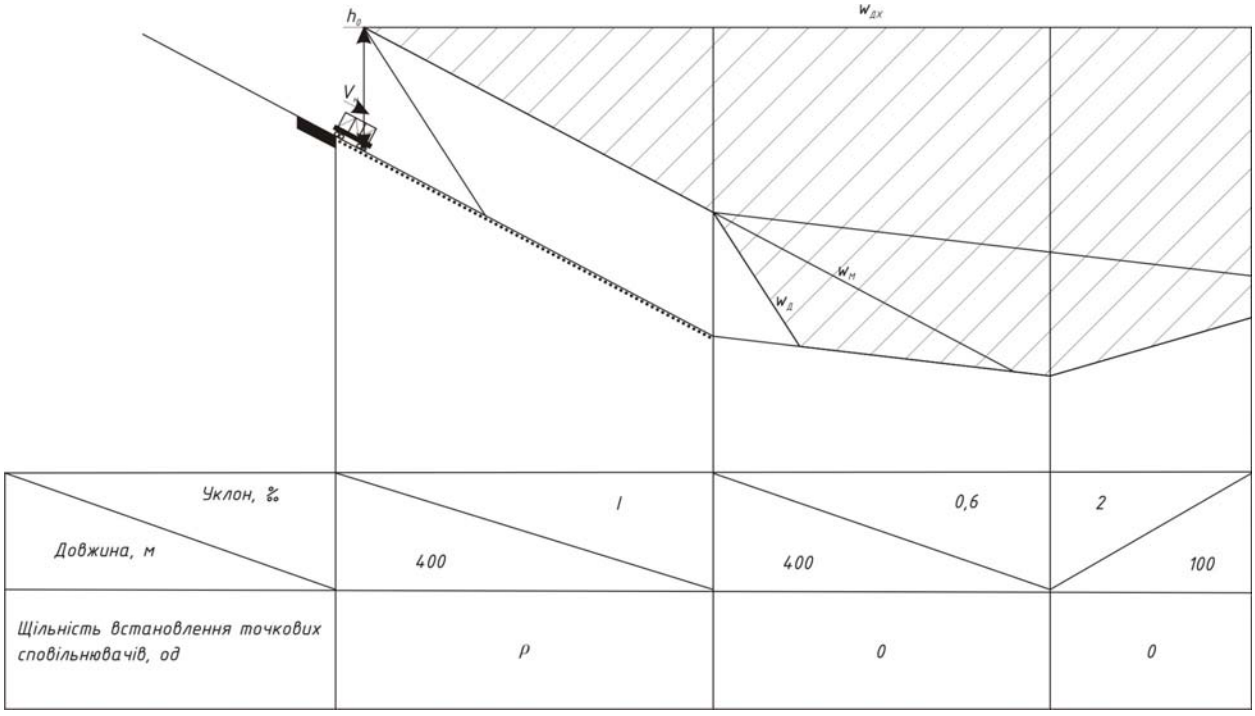


Рис. 1. Рішення рівняння скочування відчепів на сортувальній колії в енергетичному вигляді

Модель дозволяє задавати профіль сортувальної колії, обладнаної системою розподіленого регулювання швидкості вагонів, і фіксувати показники якості процесу накопичення.

В процесі накопичення вагонів на сортувальній колії вирішується дві задачі: задача максимального заповнення колії вагонами з одного боку і задача забезпечення безпечної швидкості

зіткнення відчепів з вагонами, що стоять на колії, з іншого.

На процес чинить вплив безліч факторів, велика частка з яких некеровані. А якість заповнення сортувальної колії вагонами прийнято оцінювати за ступенем заповнення сортувальної колії вагонами і ймовірністю зіткнення вагонів з допустимою швидкістю, причому обидва показники необхідно максимізувати. Крім того, що ці показники не повною мірою відображають якість заповнення сортувальної колії вагонами, вони є суперечливими в тому сенсі, що при збільшенні уклону сортувальної колії та збільшенні швидкості входу відчепа на сортувальну колію поліпшується перший показник (збільшується ступінь заповнення сортувальної колії) і погіршується другий (зростає ймовірність зіткнення вагонів з допустимою швидкістю) і навпаки.

Задача оптимізації параметрів системи розподіленого регулювання швидкості відчепів на сортувальній колії зводиться до того, щоб мінімальною кількістю точкових засобів регулювання швидкості вагонів на можливо меншому уклоні досягти максимального заповнення сортувальної колії вагонами із забезпеченням безпечної швидкості зіткнення відчепів.

Для того, щоб отримати показники якості накопичення вагонів на сортувальній колії потрібно виконати спостереження з фіксацією швидкостей зіткнення відчепів, а також довжини вікон між вагонами після розпуску чергового составу і після кожного осадження або підтягування вагонів.

Провести такі спостереження технічно і організаційно дуже складно. Тому для вирішення поставленої задачі використовувалася імітаційна модель заповнення вагонами сортувальної колії.

Обладнання сортувальних колій системою розподіленого регулювання швидкості вагонів потребує капітальних вкладень на придбання та встановлення точкових засобів регулювання швидкості, їх технічне обслуговування, а також на проведення робіт з реконструкції поздовжнього профілю сортувальних колій в межах розташування точкових сповільнювачів на існуючих станціях. Економію експлуатаційних витрат можна очікувати насамперед від скорочення витрат на маневрові пересування з підготовки колій до розпуску чергового составу і витрат на ремонт пошкоджених вагонів із-за зіткнення вагонів на сортувальній колії з небезпечною швидкістю, а також від спрощення алгоритму керування парковою гальмовою позицією, від вивільнення регулювальника швидкості вагонів на додатковій гальмової позиції в глибіні сортувального парку.

Критерієм для техніко-економічної оцінки варіантів обладнання сортувальних колій точковими засобами регулювання швидкості, що розглядаються, є мінімальні розміри приведених річних витрат при потрібному рівні її переробної здатності.

За початковий варіант конструкції і технічного оснащення приймаються визначені відповідно до Правил і норм проектування сортувальних засобів мінімально встановлений за нормативами профіль сортувальних колій зі стаціонарною гальмівною позицією на початку сортувальних колій і пересувною гальмівною позицією в глибіні сортувального парку. На пересувній гальмовій позиції гальмування здійснюється ручнім гальмівним башмаком, який підкладає регулювальник швидкості вагонів під окремі відчепи, з метою запобігання зіткнення вагонів з небезпечною швидкістю. Як альтернативні розглянуто варіанти із застосуванням точкових засобів регулювання швидкості вагонів на частині підгіркових колій після стаціонарної гальмової позиції, замість пересувної гальмової позиції.

Оскільки точкові засоби регулювання швидкості вагонів чинять додатковий опір руху вагонів, розглянуто також варіанти з більшими за нормативний уклонами в межах тієї частини сортувальних колій, де розташовано точкові засоби. При цьому передбачається відмовитися від принципу прицільного регулювання швидкості руху на підгіркових коліях, оскільки дуже важко спрогнозувати ходові властивості відчепів, а також спрогнозувати вплив безлічі інших факторів, які чинять вплив на відчеп під час його вільного кочення по сортувальній колії. Тобто реалізовано принцип керованого просування вагонів по сортувальній колії.

Засоби регулювання швидкості запропоновано розташовувати тільки на початку сортувальних колій з метою економії капітальних витрат на обладнання колій точковими засобами. Як показало дослідження, більш доцільним є розташування точкових сповільнювачів протягом не більше за 400 м за парковою гальмовою позицією.

Капітальні вкладення і експлуатаційні витрати при порівнянні варіантів конструкції і технічного оснащення сортувальної гірки повинні визначатися по елементах витрат, що розрізняються, за наступними статтями витрат:

- капітальні витрати – на засоби регулювання швидкості руху відчепів, засоби автоматизованого управління розформовуванням составів, земляні роботи при зміні висоти і профілю гірки, гіркові локомотиви;
- експлуатаційні витрати – на амортизацію, матеріали і запасні частини, технічне обслуговування і ремонт технічних засобів, простій составів в очікуванні розформовування, витрати електроенергії на регулювання швидкості руху відчепів, відшкодування втрат від пошкодження вагонів і вантажів.

Збільшення капітальних витрат у варіанті, що розглядається, в порівнянні з початковим

$$\Delta K = n_{\text{ск}(1)} e_{\text{ск}(1)} - n_{\text{ск}(2)} e_{\text{ск}(2)} + C_{\text{авт}} + \Delta V_{\text{з}} e_{\text{з}},$$

де $n_{\text{ск}(1)}$ – кількість засобів регулювання швидкості руху відчепів в початковому варіанті на сортувальних коліях;

$n_{\text{ск}(2)}$ – те ж в порівнюваному варіанті;

$e_{\text{ск}(1)}$ – вартість одного засобу, встановленого на сортувальних коліях в початковому варіанті, тис. грн;

$e_{\text{ск}(2)}$ – те ж в порівнюваному варіанті, тис. грн;

$C_{\text{авт}}$ – капітальні витрати на обладнання гірки системою автоматизації розформовування составів, тис. грн.;

$\Delta V_{\text{з}}$, $e_{\text{з}}$ – відповідно збільшення обсягу, м^3, і вартість виконання земляних робіт, тис. грн.

Оскільки засоби, що використовуються в системах квазібезперервного (із застосуванням точкових домкратовидних сповільнювачів і прискорювачів) регулювання швидкості руху відчепів, у нас не виробляють, вартість їх можна оцінити за даними зарубіжного досвіду.

Збільшення або зменшення обсягу земляних робіт в порівнянні з початковим варіантом конструкції гірки визначається з використанням проектних відміток по елементах профілю варіантів, що розглядаються.

Зменшення (або збільшення) експлуатаційних витрат у варіанті, що розглядається, в порівнянні з початковим складає

$$\pm\Delta E = E_{\text{а}(1)} - E_{\text{а}(2)} + E_{\text{ел}(1)} - E_{\text{ел}(2)} + E_{\text{пошк}(1)} - E_{\text{пошк}(2)} \pm \Delta E_{\text{пп}},$$

де $E_{\text{а}(1)}$ – витрати на амортизацію, запасні частини і технічне обслуговування засобів регулювання швидкості руху відчепів в початковому варіанті, тис. грн;

$E_{\text{а}(2)}$,– те ж в порівнюваному варіанті, тис. грн;

$E_{\text{пошк}(1)}$ – витрати на відшкодування втрат від пошкодження вагонів в початковому варіанті, тис. грн;

$E_{\text{пошк}(2)}$ – теж в порівнюваному варіанті, тис. грн;

$\Delta E_{\text{пп}}$ – економія від скорочення часу простою составів у парку приймання в порівнюваному варіанті, тис. грн.

Експлуатаційні витрати на утримання домкратовидних сповільнювачів – 10 %, домкратовидних сповільнювачів-прискорювачів – 18 % їх вартості.

За наслідками моделювання процесу накопичення вагонів встановлюється $n_{\text{пошк}}$ – кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на гірці, а кількість пошкоджених вагонів за рік при добовій переробці N вагонів

$$N_{\text{пошк}} = 0{,}365\, N\, n_{\text{пошк}}.$$

Витрати від пошкодження вагонів на сортувальних коліях:

$$E_{\text{пошк}} = \left(C_{\text{р}} + \frac{(Ц_{\text{в}} + Г \cdot Ц_{\text{т}})\, t_{\text{пт}}}{0{,}95 \cdot 8760} \right) N_{\text{пошк}},$$

де $C_{\text{р}}$ – середня вартість ремонту одного відчепленого вагона, тис. грн.;

$t_{\text{пт}}$ – загальний простій вагона в поточному ремонті, год.;

0,95·8760 – річний фонд робочого часу вагона;

$Ц_{\text{в}}$ – середньозважена ціна вагона, тис. грн;

$Г$ – розмір вантажної маси, що перевозиться у вагоні, т;

$Ц_{\text{т}}$ – ціна тонни вантажної маси, тис. грн.

Зміна часу простою составів у парку приймання у варіанті, що розглядається, відбудеться при зменшенні або збільшенні гіркового технологічного інтервалу $t_{\text{г}}$ порівняно з початковим варіантом.

При відомих розрахункових розмірах переробки составів за добу $n_{\text{р}}$ і зміні гіркового інтервалу від $t_{\text{г}(1)}$ в початковому варіанті до $t_{\text{г}(2)}$ в тому, що розглядається, простій составів в очікуванні розформовування зміниться на величину, год.:

$$\Delta t_{\text{пп}} = 0{,}000125 n_{\text{р}}^2 \left(t_{\text{г}(1)}^2 - t_{\text{г}(2)}^2 \right) - 0{,}1568 \cdot n_{\text{р}} \left(t_{\text{г}(1)} - t_{\text{г}(2)} \right).$$

Конструкція і технічне оснащення гірки можуть зробити істотний вплив на величину $t_г$, оскільки від них залежить тривалість основних технологічних операцій гіркового циклу (розпуск составів, осаджування вагонів і маневри на сортувальних коліях), а також можливий рівень паралельності виконання операцій. Найбільш точно тривалість виконання цих технологічних операцій можна встановити моделюванням процесу розпуску составів.

Середній час $t_р$ розпуску составів, хв.:

$$t_р = \frac{l_с}{v_р 60},$$

де $l_с$ – середня довжина составу, м;

$v_р$ –середня швидкість розпуску, м/с.

За встановленими моделюванням значеннями числа операцій осадження $P_{ос}$, що доводяться на один перероблений вагон, і величини «вікна» λ, м, середній час осаджування вагонів на сортувальних коліях, год. [2]:

$$t_{ос} = m_с \left[2P_{ос} t_1 + 0,06\lambda \left(\frac{1}{v_{ос}} + \frac{1}{v_{ол}} \right) \right],$$

де $m_с$ – середнє число вагонів у составі;

t_1 – час напіврейсу заїзду на сортувальну колію одиночного локомотива, хв.;

$v_{ос}$ – швидкість осадження, км/год;

$v_{ол}$ – швидкість руху одиночного локомотива по сортувальній колії, км/год.

Час на виконання маневрів з ліквідації наслідків нагону відчепів (що доводиться на один перероблений состав) [2]:

$$t_{лн} = 2m_с P_н t_1,$$

де $P_н$ – число нагону відчепів, що приймається за наслідками моделювання.

Необхідні для розрахунку значення часу насуву на гірку, заїзду гіркового локомотива в парк приймання, які не залежать від технічного оснащення гірки, а тільки в основному від колійного розвитку гіркової і передгіркової горловини, можуть бути визначені з використанням [3, 4]. При відомих значеннях тривалості операцій гіркового циклу $t_г$, хв., визначається з виразу:

$$t_г = \beta_0 + \beta_1 t_р + \beta_2 \left(t_{н(с)} + t_{н(г)} \right) + \beta_3 \left(t_{з(пг)} + t_{з(пп)} \right) + \beta_4 \left(t_{ос} + t_{лн} \right) - \beta_5 \kappa_{оп} + \Delta t_{згс},$$

де $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – коефіцієнти регресії, значення яких приймаються по табл. 50 [3];

$t_{н(с)}$, $t_{н(г)}$ – середній час насуву составу відповідно до гіркового світлофора і від нього до горба гірки, хв.;

$t_{з(пг)}$, $t_{з(пп)}$ – середній час заїзду локомотива в парк прийому відповідно від горба гірки до передгіркової горловини і від неї до підходу локомотива до составу, хв.;

$\kappa_{оп}$ – коефіцієнт паралелі виконання маневрових операцій;

$\Delta t_{зсг}$ – збільшення гіркового технологічного інтервалу, пов'язане з наявністю в составах для розформування вагонів, заборонених до спуску з гірки без локомотива, хв.

Коефіцієнт $\kappa_{оп}$ і величину $\Delta t_{зсг}$ визначають за методикою, описаною в [3]. Більш точні результати визначення гіркового технологічного інтервалу гірок із різними конструкцією і технічним оснащенням можуть бути отримані імітаційним моделюванням роботи гірки.

Економія від скорочення часу знаходження составів у парку приймання в разі зменшення гіркового інтервалу порівняно з початковим варіантом, тис. грн:

$$\Delta E_{пп} = 0,365\, N\, \Delta t_{пп}\, e_{в\text{-}год} = 0,365\, n_р\, m_с\, \Delta t_{пп}\, e_{в\text{-}год},$$

де $e_{в\text{-}год}$ – вартість 1 вагоно-години, грн.

Варіант конструкції і технічного оснащення сортувальних колій, що розглядається, буде більш ефективним порівняно з початковим варіантом, якщо його застосування приведе до скорочення приведених річних витрат.

В дослідженні розглянуто змінні фактори в діапазоні:

- уклон від 0,6 ‰ до 3,0 ‰;
- щільність розташування точкових засобів від 0 до 0,5 од./м.

Фактори по різному впливають на показники якості процесу накопичення вагонів, показники якості між собою непорівняні, тому вирішальним у визначенні параметрів системи розподіленого регулювання швидкості постає економічний чинник.

На початку дослідження здавалося, що якщо сортувальну колію обладнати точковими вагоносповільнювачами, то найкращі показники якості заповнення вагонами сортувальної колії спостерігатимуться за умов найбільшого уклону колії при більшої щільності розташування точкових вагоносповільнювачів. Однак з'ясувалося, що це не зовсім так.

За малої щільності розташування вагоносповільнювачів від 0 до 0,2 од./м ефекту зовсім не спостерігається. За більшої щільності зі збільшенням уклону сортувальної колії з'являється невеличкий ефект, що зникає при подальшому збільшенні уклону колії. Такий ефект викликаний суперечливістю двох основних показників якості процесу накопичення вагонів на сортувальних коліях.

Спочатку ефект досягається завдяки покращенню першого показника, тобто за рахунок підвищення ступеня заповнення колії вагонами та скорочення часу на осаджування вагонів. Потім починає переважати інший показник, ймовірність зіткнення відчепів з безпечною швидкістю зменшується, а кількість пошкоджених вагонів збільшується. За умов збільшення щільності розташування точкових вагоносповільнювачів найбільший ефект спостерігається раз у раз при більшому уклоні. Так, за щільності розташування точкових вагоносповільнювачів 0,3 од./м максимальний ефект отримаємо на уклоні порядку 1,5 ‰, за щільності 0,4 од./м – 2,0 ‰, за щільності 0,5 од./м – 2,5 ‰.

Таким чином, обладнання сортувальних колій системою розподіленого регулювання швидкості потребує дещо більшого уклону сортувальних колій відносно нормативного 0,6‰ , але це дозволяє взагалі відмовитися від прицільного гальмування відчепів та водночас забезпечити зіткнення відчепів із безпечною швидкістю й високий ступінь заповнення сортувальної колії вагонами. Таким чином, застосування системи розподіленого регулювання швидкості вагонів може забезпечити істотну економію витрат на ремонт вагонів, що пошкоджуються під час зіткнення відчепів на коліях накопичення в сортувальному парку, а також скоротити обсяг маневрової роботи і час виконання операцій з підготовки колій до розпуску з гірки чергового состава.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Назаров, А. А. Анализ возможности применения систем квазинепрерывного регулирования скорости отцепов типа DOWTY на сортировочных горках [Текст] / А. А. Назаров // Зб. наук. пр. Київського ун–ту економіки і технологій транспорту. – 2003.
2. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] / Ю. А. Муха [и др.]. – М.: Транспорт, 1994.
3. Типовые нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте [Текст] / МПС. – М.: Транспорт, 1987.
4. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст] / Мінтранс України. – К., 2003.

Надійшла до редколегії 19.05.2010.
Прийнята до друку 21.05.2010.

УДК 669.11 + 669.275 /: 621.359

Т. Е. ДОРОГАНЬ (ДИИТ)

АНАЛИЗ СОСТАВА НЕРАВНОВЕСНЫХ ФАЗ В БИНАРНЫХ СПЛАВАХ МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МЕЖАТОМНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОМПОНЕНТОВ

Роботу присвячено вивченню формування фазового складу електроосаджених і швидкозакристалізованих сплавів молібдену і вольфраму із залізом, кобальтом, нікелем. Досліджено взаємозв'язок потенціалу катода і швидкості формування покриттів з їх структурою і складом. Знайдено спільні закономірності для перерахованих систем, які пов'язані з характером міжатомної взаємодії компонентів. Здійснено обчислення концентраційного інтервалу існування гомогенних металевих покриттів із застосуванням іонізаційних потенціалів складових. Розвивається напрям прогнозування структури в результаті аналізу загальних закономірностей нерівноважної кристалізації.

Работа посвящена изучению формирования фазового состава электроосажденных и быстрозакристаллизованных сплавов молибдена и вольфрама с железом, кобальтом, никелем. Исследована взаимосвязь потенциала катода и скорости формирования покрытий с их структурой и составом. Найдены общие закономерности для перечисленных систем, которые обосновываются характером межатомного взаимодействия. Произведен расчет концентрационного интервала существования гомогенных металлических покрытий с применением ионизационных потенциалов компонентов. Развивается направление прогнозирования структуры в результате анализа общих закономерностей неравновесной кристаллизации.

The article is devoted to the problem of phase composition formation in molybdenum and tungsten electrodeposited alloys as well as to the comparison of data concerning the structure of alloys obtained by means of electrocrystallization and through high-rate quenching of melt. The work develops the trend of predicting the structure and properties of alloys as a result of analysis of general regularities of non-equilibrium crystallizations. The new technique for estimation of conditions and intermolecular interaction of components in electrodeposited iron's group metals alloys with tungsten and molybdenum is offered. The electrodeposited alloys Mo, W have similar laws as from the point of view of electrochemical kinetics of their allocation as phase structure. It opens opportunities to obtaining alloys with the beforehand given structure and properties and has importance for the solving a problem of creating new materials.

Введение

К материалам нового поколения относятся сплавы с неравновесной структурой, которые получены методами сверхбыстрой закалки или электролитического осаждения. Особый интерес вызывает получение сплавов металлов подгруппы железа с молибденом и вольфрамом в связи с тем, что повышение электронной концентрации в результате такого легирования обеспечивает повышение энергии связи атомов, прочность и термическую стабильность кристаллической решетки.

Электроосаждение как метод неравновесной кристаллизации открывает широкие возможности для получения сплавов с ценными физико-химическими свойствами благодаря его высокой технологичности и особенностям структуры и состава покрытий. Однако закономерности изменения структура электроосажденных сплавов изучены недостаточно. Чтобы получить электроосажденные сплавы с определенными свойствами необходимо по возможности более точно прогнозировать химический и фазовый состав покрытий в зависимости от условий электролиза.

Известно, что молибден и вольфрам в металлическом состоянии не могут быть выделены электролитически из водных растворов, а содержание этих металлов в электроосажденных сплавах ограничено определенными значениями концентрации, поэтому имеет практический интерес уточнить эти значения. С этой целью в работе проведено исследование изменений состава и структуры электролитических сплавов Ni-W, Ni-Mo, Co-W, Co-Mo, Fe-W, Fe–Mo в зависимости от параметров электролиза и сопоставлены данные о фазовом составе быстроохлажденных сплавов. Это позволило предложить методику расчета граничных концентраций осаждения на основе анализа характера межатомного взаимодействия компонентов в указанных сплавах.

© Дорогань Т. Е., 2010

Материалы и исследовательские приемы

Электроосаждение является разновидностью гальванических процессов переноса ионов металла от анода к катоду через раствор и их восстановления. Он протекает в несколько стадий под действием ряда управляющих факторов, таких как концентрация в растворе ионов, плотность тока, температура и т.д. Однако структура сплавов определяется, прежде всего, электрохимическим потенциалом катода, который является интегрирующим показателем воздействия всех параметров процесса, в том числе режима электролиза и состава электролита [1]. Для рассмотренных систем этот метод детально описан в работах [2, 3].

В настоящей работе электроосаждение осуществляли в гальваностатическом режиме на медную полированную подложку с помощью растворимых молибденового и вольфрамового анодов из лимоннокислых электролитов при различных плотностях тока и значениях водородного показателя pH раствора. Кинетику электроосаждения изучали на основании данных о потенциале катода и скорости изменения массы покрытия. По последней рассчитывали скорость осаждения.

Быстроохлажденные сплавы получены методом выстрела расплава на вращающийся медный цилиндр, что обеспечивало скорость охлаждения $10^7 \ldots 10^8$ град/с [4, 5]. Данные о структуре сплавов получены методами рентгенографии и просвечивающей электронной микроскопии. Проведены микрорентгеноспектральные, химические, металлографические исследования сплавов, анализ спектров Мессбауэра.

Химический анализ покрытий выполняли методом кислотного гидролиза с объемным трилонометрическим окончанием с точностью ±0,5 %. Для ряда покрытий, полученных при очень малых скоростях осаждения и имевших массу менее 0,1 г, точность анализа снижалась.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В результате обобщения данных о фазовом составе быстроохлажденных сплавов установлено, что при отводе тепла со скоростью $10^7 \ldots 10^8$ К/с в двухкомпонентных системах Ni-W, Ni-Mo, Co-W, Co-Mo, Fe-W, Fe-Mo образовывались сильно пресыщенные твердые растворы на основе металла подгруппы железа, причем растворимость молибдена и вольфрама увеличивалась с ростом температуры перегрева расплава и скорости охлаждения. Предельная растворимость молибдена/вольфрама превышала максимальную равновесную растворимость, а в системах Ni-Mo, Ni-W эвтектическую концентрацию [5, 9, 10, 11]. Кроме того, наблюдалось подавление выделения инконгруентных интерметаллических фаз. В системах Ni-Mo, Ni-W, Co-Mo имело место образование ряда метастабильных фаз. Однако даже в условиях перегрева расплава свыше 2500 К при скоростях охлаждения $10^7 \ldots 10^8$ К/с формирование аморфных фаз не зафиксировано

В электроосажденных сплавах перечисленных выше систем, за исключением Ni-Mo, Co-Mo, с увеличением концентрации вольфрама/молибдена в покрытии можно выделить такие характерные области фазового состава: а) α-твердый раствор, пресыщение которого может превышать максимальную растворимость по диаграмме равновесных состояний; б) смесь α-твердого раствора (концентрация легирующего элемента совпадает с максимальной растворимостью по диаграмме состояний) и аморфной фазы постоянного состава; в) аморфное состояние, наличие которого установлено по данным электронной микродифракции и рентгеноструктурного анализа (табл. 1) [5 – 10].

В результате увеличения pH (снижения кислотности раствора) увеличивалось содержание в сплавах молибдена/вольфрама. Изменение состава электролитических сплавов сопровождалось резким возрастанием потенциала катода и уменьшением скорости осаждения. Это является косвенным доказательством изменения энергетического состояния системы. Происходит изменение структуры, в частности, появление в составе покрытий аморфной составляющей. Выделение сплавов с двухфазной структурой имело место в условиях самопроизвольных автоколебаний потенциала катода в пределах от нуля до нескольких десятков милливольт. Затем скорость осаждения возрастала, и формировались высококачественные покрытия с аморфной структурой. В дальнейшем при достижении некоторой предельной концентрации молибдена/вольфрама скорость осаждения снижалась до нуля. Формирование покрытий с более высоким содержанием тугоплавкого компонента становилось невозможным из-за конкурирующего процесса выделения водорода. Этот факт отмечали многие исследователи [2, 3, 12].

Таблица 1

Содержание молибдена и вольфрама в твердом растворе и аморфной фазе

Система	Максимальная равновесная растворимость Mo, W, ат. %	Предельное содержимое Mo, W в электролитическом твердом растворе, ат. %	Содержание Mo, W в аморфной фазе, ат. %	Содержание Mo, W в смежном твердом растворе, ат. %	Равновесные интерметаллидные фазы	Максимальная растворимость в быстрозакристаллизованных сплавах
Ni-W	16,4	20,8	21,0…30,6	16,8	Ni4W	26,3 [5, 10]
Co-W	16,5	20,1	22,0…45,0	16,0	Co3W, Co7W6	24,5 [6]
Fe-W	13,0	15,7	22,0…50,7	13,9	Fe2W, Fe3W2	20,8 [7]
Fe-Mo	26,0	20,8	20,8…46,0	19,3	Fe2Mo, Fe7Mo6 , FeMo	27,9 [7]
Ni-Mo	27,0	34,0	–		Ni4Mo, Ni3Mo, NiMo	37,4 [5, 9, 10]
Co-Mo	17,0	26,0	–		Co9Mo2 , Co3Mo, Co7Mo6 , Co2Mo3	25,0 [6]

Таким образом, наличие аморфного состояния в системах Fe-W, Fe-Mo, Co-W, Ni-W непосредственно связано с концентрацией в сплаве легирующего элемента, так как именно после достижения некоторого предельного содержания молибдена и вольфрама в твердом растворе начинается выделение аморфной фазы постоянного состава. Это сопровождается снижением содержание молибдена и вольфрама в твердом растворе до значений, близких к максимальной растворимости по диаграмме равновесных состояний. Отмечено что состав образующейся аморфной фазы был близок к стехиометрическому составу A_3B. Однако равновесная фаза такой стехиометрии имеется лишь в системах Co-W и Ni-Mo.

Вызывает интерес форма интерференционных кривых, полученных по данным рассеяния монохроматического молибденового излучения. Отличительной особенностью аморфных покрытий Co-W, Ni-W, Fe-Mo является дополнительный выступ на малых углах отражения, когда доминирует вклад больших межатомных расстояний, а также плеча на втором интерференционном максимуме. Интерференционные функции подобной формы были описаны ранее в работах [13 – 15] для электроосажденных сплавов Co + 25 ат. % W, где была предложена модель случайной упаковки кластеров в виде тетраэдров, в вершинах которых находятся три атома кобальта и один атом вольфрама.

Анализ состава гомогенных фаз с точки зрения электронного строения компонентов

В настоящее время надежно установлено, что если растет разность размеров атомов или их валентностей, то растет и разность электроотрицательностей. Увеличивается взаимодействие атомов, выражающееся в виде отрицательного прироста энтальпии и свободной энергии смешения. Сильное взаимодействие разноименных атомов ведет к образованию стабильных интерметаллических соединений. Таким образом, при рассмотрении сплавов металлов подгруппы железа с молибденом и вольфрамом следует принимать во внимание кристаллохимический фактор, который позволяет выявить ряд координаций, обеспечивающих устойчивость аморфного состояния по отношению к кристаллизации; такая устойчивость возможна при достаточной простоте конфигураций и насыщении связей в пределах данной конфигурации.

В связи с этим предпринято изучение термической релаксации сплавов с неравновесной структурой. Поскольку аморфное состояние является метастабильным, то закономерен переход его в стабильное кристаллическое состояние. Это находит применение при создании частично или полностью кристаллических сплавов, которые нельзя получить из жидкого состояния. Известно, что процесс переход аморфных сплавов в равновесное кристаллическое состояние характеризуется многостадий-

ностью. Для его изучения были проведены дериватографические исследования при скорости нагрева 1 град/мин.

Наличие экстремумов, отмеченных в табл. 2, связано с тонкими структурными изменениями, происходящими при отжиге: сегрегационными эффектами, появлением субмикроскопических областей с повышенной корреляцией в расположении атомов, уменьшением степени совершенства аморфной матрицы, а также выделением метастабильных и равновесных интерметаллических фаз [15, 17].

Таблица 2

Температура экзотермических максимумов, соответствующих превращениям в электроосажденных сплавах

Система	Температура превращения, К			
	1	2	3	4
Ni - 27 ат. % W	753	848	893	993
Co - 25 ат. % W	753	843	893	-
Co - 38,5 ат. % W	723	848	945	993
Fe - 25 ат. % W	723	873	953	1028

Термический распад аморфных фаз в исследованных системах при 850…950 К проходит через стадию выделения метастабильных фаз с кристаллической решеткой типа DO_{19}, близких к соединению Co_3W, и через стадию образования равновесных фаз при 990…1030 К.

Установлено, что аморфные сплавы, имеющие стехиометрический состав A_3B (Co - 25 ат. % W, Fe - 25 ат. % W), проходят распад до равновесного состояния за меньшее число этапов и обладают более высокой критической температурой активации. Это подтверждает наибольшая площадь под экзотермическим максимумом.

Проведены рентгенофазовые исследования электроосажденных сплавов с содержанием 20…25 ат. % Mo, W после поэтапного изотермического отжига в среде инертного газа. Это позволило обнаружить ряд метастабильных фаз, указанных в табл. 3. Их образование предшествовало образованию равновесных соединений.

На основании данных о структуре фаз можно утверждать, что в результате релаксационных процессов в аморфных сплавах металлов группы железа с вольфрамом формируются области локального порядка. В результате диффузионных процессов они трансформируются в метастабильные фазы преимущественно с гексагональной структурой, а затем – в равновесные. В быстроохлажденных сплавах отмечены сходные состояния.

Таблица 3

Метастабильные фазы, сопровождающие термический распад аморфной структурны

1	Тип решетки	Параметры решетки, нм
Ni-W	ОЦК	a = 0,455
Ni-Mo	ГЦК	a = 0,426
Co-W	Гексагональная	a = 0,391; c = 0,341; c/a = 0,87
Co-W	ОЦ-тетрагональная	a = 0,362; c = 0,463; c/a = 1,28
Fe-W	Гексагональная	a = 0,489; c = 0,337; c/a = 0,69
Fe-Mo	ГЦК	a = 0,614

Известно, что необходимым условием образования сплавов при электроосаждении является восстановление компонентов до металлического состояния; для этого требуется переход в зону проводимости валентных электронов с образованием устойчивой 18-электронной оболочки. Такая совокупность электронов на заполненных *s*-, *p*-, *d*-подуровнях характеризуется повышенной стабильностью и соответствует полной компенсации орбитальных и спиновых моментов электронов. Ионизирующая способность металла-растворителя определяется потенциалом, создаваемым в пространстве кристаллической решетки эффективным зарядом атомного остова, окружающего атомы легирующего элемента. С другой стороны, растворимость атомов легирующего элемента ограничена его способностью ионизироваться; она определяется ионизационными потенциалами валентных электронов. Оба эти фактора определяют вероятность перехода внешних электронов в зону проводимости и обусловливают валентность элементов, образующих связь. Прокошин, Молотилов, Потапов предлагали использовать ионизационные потенциалы для определения стабильности аморфных фаз.

Н. И. Варичем было предложен показатель в виде отношения суммарных ионизационных потенциалов валентных электронов компонентов [16], успешно использованный им для оценки концентрационного интервала образования твердых растворов в двойных сплавах (табл. 4). Это также дало возможность прогнозировать ряд фазовых состояний в быстроохлажденных сплавах.

Таблица 4

Потенциалы ионизации и их сумма для исследованных систем и C_k^r

Ионизационные потенциалы внешних электронов, эВ					
№	Mo	W	Fe	Co	Ni
1	7,131	7,98	7,896	7,86	3,633
2	15,72	17,7	16,18	17,05	18,15
3	29,6	24,1	30,64	33,49	36,16
4	46,4	35,4	57,1	53	56
5	61,2	48	78	83,5	78
6	67	61	103	106	110
7			130	133,1	136
8			151,1	163	169
9				185	200
10					234
Сумма ионизационных потенциалов металлов, эВ					
227,051	194,18		573,92	782,00	1040,94
C_k^r					
Сплавы Mo			2,527	3,444	4,584
Сплавы W			2,955	4,027	5,361

Учитывая то, что Fe, Co, Ni имеют соответственно 8, 9 и 10 внешних электронов, способных принимать участие в создании парных электронных связей, а молибден и вольфрам – 6 электронов, нами рассчитаны отношения сумм ионизационных потенциалов валентных электронов компонентов, образующих сплав для вышеназванных систем:

$$C_r^k = \frac{\sum_{i=1}^{r} V_i}{\sum_{i=1}^{k} V_i'} , \qquad (1)$$

где V_i , V_j' – соответственно ионизационные потенциалы i-го внешнего электрона атомов металла подгруппы железа и вольфрама/молибдена;

k, r – количество внешних электронов ($k_{\text{W, Mo}} = 6$; $r_{\text{Fe, Co, N i}} = 8 \ldots 10$).

Наименьшие значения C_k^r имеют системы на основе железа, где за счет близких значений суммы ионизационных потенциалов основного и легирующего элементов складываются наиболее благоприятные условия для расширения концентрационного интервала образования электролитических сплавов, в частности, сплавов с гомогенной структурой и наиболее высоким содержанием молибдена/вольфрама.

Важным для практики получения жаропрочных покрытий является знание некоторой предельной концентрации, которая ограничивает верхний уровень содержания молибдена и вольфрама в электролитически осажденных сплавах.

Данные работы [18] по легированию электроосажденных сплавов Ni-Mo цинком показали, что включение молибдена в покрытие прекращается, когда атомное соотношение Zn : Ni соответствует отношению электронных вакансий в *3d*-зоне никеля, заселенных 4*s*-электронами цинка. Это свидетельствует о том, что неспаренные электроны 3*d*-зоны металлов группы железа способствуют осаждению молибдена и вольфрама.

На основе представлений о процессе сплавообразования исследованных систем с точки зрения создания стабильных d^{10}-электронных конфигураций атомов молибдена и вольфрама за счет неспаренных 3*d*-электронов металлов группы железа и модельных представлений, развитых в работах [2, 18, 19], выполнены расчеты состава сплавов молибдена с Fe, Co, Ni, которые соответствуют максимальному содержанию тугоплавкого компонента.

Для определения предельной концентрации Mo/W в двойных сплавах проведены расчеты по формуле (2):

$$\text{am.\% Mo, W} = \frac{Nm \cdot 100\%}{C_k^r + mN} = \frac{\frac{Nm}{C_k^r}}{1 + \frac{Nm}{C_k^r}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где N – количество неспаренных электронов металла подгруппы железа, по Киттелю [20], равное соответственно для Ni, Co, Fe – 0,6; 1,6; 2,4 магнетонов Бора;

m – корреляционный коэффициент, найден на основании данных о наличии определенных атомных координаций ($m = 3$).

Числитель формулы характеризует количество атомов молибдена/вольфрама, которое восстанавливается m атомами металла группы железа, а в знаменатель – суммарное число атомов металла группы железа и молибдена/вольфрама. Показатель m / C_k^r соответствует вероятности восстановления одного атома молибдена/вольфрама в одной формульной единице сплава (кластере). Таким образом, форму-

ла выражает относительное число атомов молибдена/вольфрама, восстанавливающееся неспаренными электронами одного атома металла подгруппы железа. Критический состав электроосажденных сплавов с точки зрения электронной теории должен зависеть от плотности состояний вблизи поверхности Ферми.

Близость электронных состояний компонентов выражается в уменьшении показателя C_r^k и определяет расширение области кристаллохимического взаимодействия. Факт изменения типа межатомного взаимодействия подтверждается также изменением вида Мессбауэровских спектров для покрытий Fe-W от триплетов, которые свойственны железу, до одного расширенного резонансного пика для сплавов Fe-W.

Данные работы [17] для системы Fe-Mo, содержащих 10…25 ат. % Mo/W, свидетельствуют о вырождении спиновых состояний вследствие изменения близкого окружения атомов железа и перестройки электронной структуры сплава. Ослабление магнитных свойств при переходе от структуры твердого раствора к аморфной можно связать с изменением обменного взаимодействия вследствие проявления химического ближнего порядка и наличия определенного локального упорядочения. В его пользу свидетельствуют данные термического распада фаз и форма интерференционных функций рассеяния. Однако физическая природа обменного взаимодействия в переходных металлах с недостроенной электронной оболочкой не выяснена. Очевидно, что в сплавах железа имеет место наиболее значительное включение молибдена и вольфрама, что можно объяснить усилением хемосорбционной связи, которая организуется с участием большего количество электронов.

Экспериментальные и расчетные данные о содержании молибдена/вольфрама в электролитических сплавах сопоставлены в табл. 5 и обнаруживают корреляцию. Уместно сказать, что данные [19, 21] о составе осадков, образованных методом химического восстановления из электролитов одной природы, подтверждают те же закономерности.

Предлагаемый подход, основанный на электронном строении компонентов, коррелирует с составом сплавов, полученных различными методами. Он также свидетельствует в пользу радикально-пленочного механизма осаждения указанных сплавов, предложенного А. Т. Васько [2], который обосновал, что хемосорбционная связь при сплавообразовании организована благодаря наличию недостроенных 3*d*-электронных оболочек металлов подгруппы железа. Последнее утверждение можно подкрепить данными по электроосаждению сплавов Cr-Mo, Cr-W [22]. Эти системы на равновесной диаграмме состояний имеют неограниченную растворимость, хотя в условиях электрокристаллизации получены твердые растворы на основе хрома с содержанием до 8 % Mo, W. Указанный факт можно объяснить меньшей, чем у металлов подгруппы железа концентрацией валентных 3*d*-электронов, принимающих участие в организации химической связи.

Таблица 5

Максимальная концентрация Mo, W в электролитических двойных сплавах

Металл группы железа	Mo, ат. %			W, ат. %		
	Экспериментальные значения	Химически сорбированные осадки	Расчетные значения	Экспериментальные значения	Химически сорбированные осадки	Расчетные значения
Fe	60	90	72	51	70	69
Co	54	70	59	46	60	56
Ni	31	30	28	30	20	25

Выводы

Установлены общие закономерности изменения фазового состава сплавов, что является следствием подобия электронной структуры компонентов. Фазовый состав электроосажденных сплавов определяется электрохимическим потенциалом катода. Разницу энергетических состояний компонентов при электрокристаллизации можно преодолеть путем оптимизации соотношения компонентов в электролите и соответствующего потенциала катода.

Результаты исследований структуры электроосажденных сплавов продемонстрировали общие черты для двух методов неравновесной кристаллизации. В электролитических сплавах по сравнению с быстроохлажденными существует возможность зафиксировать более неравновесные состояния, причем в системах Ni-W, Co-W, Fe-W, Fe-Mo наблюдается образование пресыщенных твердых растворов и подавление выделения инконгруентных интерметаллидных фаз. Вместо них образуются аморфные фазы. Однако в условиях электроосаждения сущест-

вуют более широкие возможности для получения неравновесных структур.

Практическая ценность результатов состоит в том, что электролитическое осаждение сплавов аморфных структуры можно контролировать по данным об изменении потенциала катода и скорости осаждения. Это открывает возможности прогнозировать состав электролитических сплавов и имеет прикладное значение для решения проблемы создания новых материалов. Данные работы позволят глубже понять процессы, происходящие при неравновесной кристаллизации в сплавах, критическим образом подойти к выбору компонентов при создании аморфных и жаропрочных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунова, К. М. Электроосаждение сплавов [Текст] / К. М. Горбунова, Ю. М. Полукаров // Итоги науки. Электрохимия. Электроосаждение металлов и сплавов. – Вып. 1. – М.: ВИНИТИ, 1966. – С. 59-113.
2. Васько, А. Т. Электрохимия молибдена и вольфрама [Текст] / А. Т. Васько. – К.: Наук. думка, 1977. – 172 с.
3. Петрунина, Т. Е. Особенности фазового состава сплавов Ni-W, Co-W и Ni-Mo, осажденных из лимоннокислых электролитов [Текст] / Т. Е. Петрунина, Л. М. Буров // Вопросы формирования метастабильной структуры сплавов. – Д.: ДГУ, 1982. – С. 114-119.
4. Якунин, А. А. Установка для кристаллизации тугоплавких сплавов с большой скоростью охлаждения [Текст] / А. А. Якунин // Неравновесная кристаллизация металлических сплавов. – Д.: ДГУ, 1972. – С. 36-39.
5. Петрунина, А. Н. Влияние условий кристаллизации на структуру и фазовый состав бинарных никелевых сплавов [Текст] : автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук: 01.046. – Д., 1972. – 133 с.
6. Ткач, В. И. Влияние скорости охлаждения расплава на фазовый состав сплавов на основе переходных металлов [Текст] : автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук: 01.046. – Д., 1973. – 163 с.
7. Полеся, А. Ф. Влияние скорости охлаждения на формирование структуры сплавов Fe-W, Fe-Mo [Текст] / А. Ф. Полеся, Л. С. Слипченко, Л. М. Буров // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1971. – № 9. – С. 114-123.
8. Бондарь, В. В. Электроосаждение сплавов аморфного строения [Текст] / В. В. Бондарь, Ю. М. Полукаров // Тр. I-й Украинской респ. конф. по электрохимии. – Ч. 1. – К.: Наук. думка, 1973. – С. 204-214.
9. Варич, Н. И. Кристаллизация сплавов Ni-Mo со сверхвысокими скоростями охлаждения [Текст] / Н. И. Варич, А. Н. Петрунина // Неравновесная кристаллизация металлических сплавов. – Д.: ДГУ, 1971. – С. 19-23.
10. Варич, Н. И. Рост и дефекты в металлических кристаллах [Текст] / Н. И. Варич, А. Н. Петрунина. – К.: Наук. думка, 1972. – С. 37-42.
11. Сидорова, И. Б Упорядочение в сплаве Ni - 20,8 ат. % Mo [Текст] // И. Б. Сидорова, Ю. А. Скаков // Изв. ВУЗов. Физика. – 1979. – № 4. – С. 115-117.
12. Fukushima, H. Role of Iron-group Metals in the Induced Codeposition of Molibdenum from Aqueous Solution [Text] // H. Fukushima, T. Akiyama, S. Akaqi // J. of the Japan Institute of Metals. – 1978. – V. 42, No. 10. – P. 980-985.
13. Omi, T. On the Structure of Electrodeposited Co-W and Ni-P Alloys [Text] / T. Omi., H. Yamamoto // Metal Finish. Soc. Jap. – 1978. – V. 29, No. 9. – P. 455-459.
14. Omi, T. Structure of Noncrystalline Co - 25 a/o W Electrodeposit [Text] / T. Omi, H. Yamamoto, H. L. Glass // J. Electrochem. Soc. – 1972 – V. 119, No. 2. – P. 168-173.
15. Осипов, К. А. Аморфные и ультрадисперсные кристаллические материалы [Текст] / К. А. Осипов. – М.: Наука, 1972. – С. 32.
16. Варич, Н. И. О взаимной растворимости элементов, образующих твердые растворы замещения [Текст] / Н. И. Варич // Физика твердого тела. – Д.: ДГУ, 1968. – С. 3-47.
17. Higashi, K. Phase Structure of Electrodeposited Fe-Mo Alloys from Aqueous Solution [Text] / K. Higashi, H. Fukushima, S. Sakaguchi // Nippon Tungsten Rev. – 1977. – V. 10. – P. 74-82.
18. Fukushima, H. A Study of the Electrodeposition of Ni-Mo Alloys from Ammonical Tartrate Bath [Text] / H. Fukushima, K. Higashi // J. Metal Finish. Soc. Jap. – 1978. – V. 29, No. 12. – P. 627-635.
19. Васько, А. Т. О механизме электроосаждения молибдена и вольфрама с металлами семейства железа [Текст] / А. Т. Васько, В. А. Косенко, В. Н. Зайченко // Тр. I Укр. респ. конф. по электрохимии. – Ч. 1. – К., 1973. – С. 238-246.
20. Вячеславов, П. М. Электролитическое осаждение сплавов [Текст] / П. М. Вячеславов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 144 с.
21. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics [Text]. – 2nd Ed. / C. Kittel. – New York: C. John Wiley and Sons, Inc., 1956. – P. 3358.
22. Дорогань, Т. Е. Износостойкие покрытия сплавами хрома с молибденом и вольфрамом [Текст] / Т. Е. Дорогань, И. М. Спиридонова // Вісник Дніпропетр. держ. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. – Вип. 4. – Д.: ДДУ, 1998. – С. 19-22.

Поступила в редколлегию 25.03.2010.
Принята к печати 06.04.2010.

УДК 629.4.027.4

Л. А. МУРАДЯН, В. Г. АНОФРИЕВ (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И АНАЛИЗ ПРИЧИН СОКРАЩЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

У статті розглянуто пошкодження на поверхні кочення залізничних коліс. Проведено аналіз появи дефектів коліс в експлуатації. Виконано порівняння коліс із різною твердістю: марки 2 і марки Т.

В статье рассмотрены повреждения на поверхности катания железнодорожных колес. Проведен анализ появления дефектов колес в эксплуатации. Выполнено сравнение колес с различной твердостью: марки 2 и марки Т.

The article considers the problems of damages of a tread contact surface of railway wheels. The analysis of occurrence of defects of wheels in operation is carried out. The comparison of wheels with various hardness (mark 2 and mark T) is executed.

В конце 80-х гг. на отечественных железных дорогах среди проблем взаимодействия колес подвижного состава и рельсов значительно возросла проблема интенсивности износа гребня цельнокатаных колес из стали марки 2, что вызвало большие расходы на текущее содержание и восстановление поверхности катания колес [1].

Износ в зоне контакта «колесо-рельс» устранить полностью невозможно, но замедлить интенсивность износа возможно, например, при помощи:

- совершенствования профиля поверхности катания колес;
- применения оптимального соотношения прочности колеса и рельса;
- повышения прочности и твердости колес.

При решении данной задачи на ОАО «Нижнеднепровский трубопрокатный завод» были изготовлены колеса из стали повышенной твердости марки Т с целью увеличения их межремонтного пробега и срока службы колес [2].

Твердость стали марки Т находится в пределах 320-360 НВ, против 260-300 НВ марки 2. В составе опытных маршрутов «Роковатая – Ужгород – Кошице» эксплуатационные испытания, проведенные сотрудниками отраслевой НИЛ «Вагоны» ДНУЖТ в течение пяти лет показали, что колеса из стали марки Т имеют более низкие износы гребней.

В последнее время на сети железных дорог Украины участились случаи появления на поверхности катания колес (марок 2 и Т) выщербин, которые уменьшают прочность колес и требуют внеплановой обточки колес при текущем ремонте вагонов, что уменьшает срок службы колес. Причинами возникновения выщербин может быть несколько:

- дефекты металлургического происхождения,
- специфичность эксплуатации вагонов,
- нарушение технологии ремонта колесных пар,
- ползуны,
- влияние тормозных колодок и др.

Для проведения анализа появления выщербин на поверхности катания колес на основе данных за 9 месяцев 2009 г. по всей сети железных дорог Украины построены соответствующие гистограммы распределения повреждения колес (рис. 1, 2).

Анализируя полученные статистические данные, можно сделать вывод, что подавляющее количество повреждений за указанный период приходится на выщербины и ползуны, хотя до недавнего времени наибольшее количество повреждений составляли прокат колеса и повреждение гребня (подрез или тонкий гребень, остроконечный накат гребня).

Причиной возникновения ползунов являются трение скольжения колеса по рельсу, которое возникает при торможении в результате неправильно отрегулированной тормозной рычажной передачи, регулировке скорости движения вагона на немеханизированных сортировочных горках при подкладывании тормозного башмака под одно колесо колесной пары.

© Мурадян Л. А., Анофриев В. Г., 2010

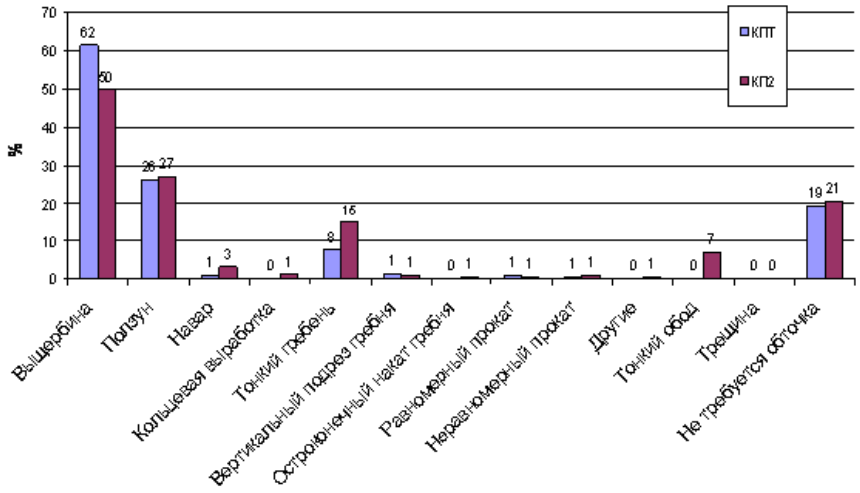


Рис. 1. Состояние колес разных марок, поступающих в ремонт за 9 месяцев 2009 года

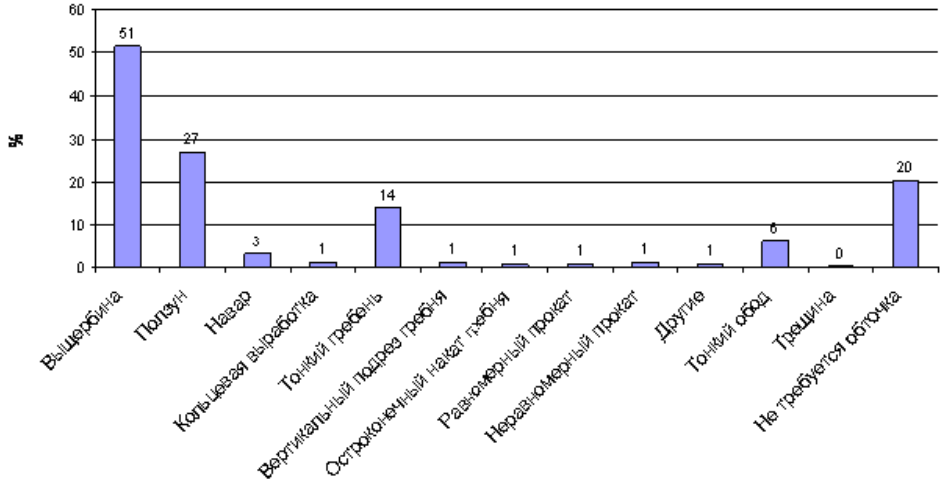


Рис. 2. Состояние всех колес, поступающих в ремонт за 9 месяцев 2009 года

При трении скольжения (юзе) в месте контакта колеса и рельса происходит значительное увеличение температуры. Для рельса эта температура распределяется вдоль пути торможения, а для колеса – тепловые нагрузки концентрируется вокруг места контакта. На поверхности катания от местного нагревания возникает закаливание металла обода колеса и соответственно значительное повышение твердости.

Наличие ползунов приводит к ударным нагрузкам и, соответственно, к выкрашиванию металла по границе ползуна, т.е. на границе разной твердости металла.

Вместе с тем, статистические данные показывают, что по другим свойствам колеса марки Т имеют явные преимущества (табл. 1).

Средний пробег до переточки у колес марки Т на 31 % больше, чем у марки 2.

Дефектов в виде ползунов и выщербин (как на одном колесе, так и симметрично на двух колесах одной колесной пары) не зафиксировано на протяжении многолетних эксплуатационных испытаний вагонов с колесами марок Т в составе опытных маршрутов «Роковатая – Ужгород – Кошице». При этом необходимо отметить, что по условиям испытаний опытные вагоны замкнутых маршрутов спускать с горок не предусмотрено.

В рамках научно-исследовательской работы в 2009 г. по данным трех вагонных депо была собрана информация о техническом состоянии цельнокатаных колес в количестве 5500 штук.

Характерные дефектами колес марки Т представлены на рис. 3, 4, а марки 2 – на рис. 5 (закатанный ползун).

Полученные данные обработаны и проанализированы по следующим признакам:

- наличие и количество ползунов на колесах,
- глубина ползунов на колесах,
- наличие выщербин,
- величина проката колес,
- толщина гребней колес.

Анализ глубины ползунов на колесах марок сталей 2 и Т показывает, что наибольшее количество ползунов расположено (рис. 6) в пределах 1,2...2,2 мм. При сравнении двух марок (Т и 2) установлено, что средняя глубина ползуна у колес марки 2 составляет 1,5 мм, что меньше, по сравнению с глубиной ползунов у марки Т – 1,6 мм.

Таблица 1

Распределение установленных дефектов для колес марки Т и марки 2

№ п/п	Тип дефекта	Показатель дефекта, %		Результаты сравнения
		Марка 2	Марка Т	
1	Выщербины	50	62	У марки Т на 12 % больше
2	Ползуны до 1 мм	14	1	У марки Т в 14 раз меньше
3	Навары и кольцевые выработки	4	1	У марки Т в 4 раз меньше
4	Уменьшение толщины гребня, вертикальный подрез гребня, равномерный и неравномерный прокат	19	11	У марки Т на 8 % меньше



Рис. 3

Гистограмма распределения количества ползунов марки 2 имеет плавный рост глубины от 0,4 мм до 1,2 мм (рис. 7), чего не наблюдается на гистограмме распределения количества ползунов марки Т (рис. 7), т.е. до глубины 1,2 мм количество ползунов на колесах повышенной твердости незначительное.



Рис. 4



Рис. 5

На основании вышеуказанного изложенного можно сделать вывод, что у колес марки Т, по сравнению с колесами марки 2, ползунов до 1,2 мм не возникает. Отсутствие ползунов до 1,2 мм и наличие их свыше 1,2 мм на колесах повышенной твердости говорит о том, что их появление возможно при увеличенных скоростях, нагрузках, длине юза и температуре контакта «колесо-рельс».

Обращает на себя внимание большое количество односторонних ползунов и выщербин (рис 8), причинами которых могут быть нарушения технологии работ на немеханизированных горках, где торможение вагонов осуществляется подкладкой башмаков под одно колесо колесной пары, а это, в свою очередь, приводит к образованию ползунов на другом колесе.

Общее количество колес марок 2 и Т с дефектами «ползуны» и «выщербины» составляет, соответственно, 84 % и 75 % (рис. 9).

Необходимо отметить, что в настоящее время ужесточились требования к продолжитель-

ности обработки поездов на сортировочных горках, что приводит к уменьшению времени обработки состава и к увеличению скорости спуска вагонов с горок.

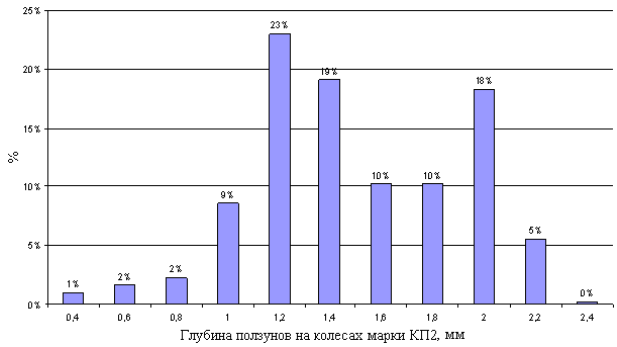


Рис. 6. Глубина ползунов на колесах марки 2

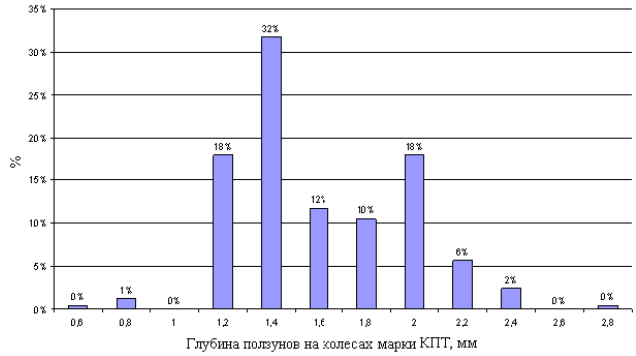


Рис. 7. Глубина ползунов на колесах марки Т, поступающих в ремонт

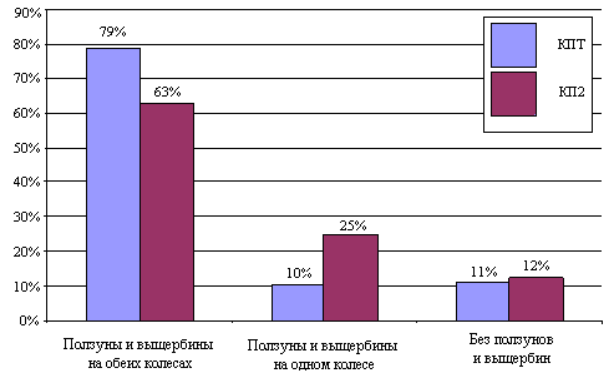


Рис. 8. Расположение ползунов и выщербин на колесной паре

Выводы

1. По данным статистического анализа неисправностей колес марок Т и 2 по всей сети железных дорог Украины установлено следующее:

- дефект выщербины наблюдается на 50 % колес марки 2 и на 62 % колес марки Т;
- ползуны, имеющие сверхнормативную глубину на колесах марки 2, на 3,8 % больше, чем на колесах марки Т;
- относительное количество ползунов глубиной до 1 мм включительно на колесах марки 2 (14 %) существенно больше (в 14 раз), чем на колесах марки Т (1 %);
- не менее 25 % ползунов на поверхности катания колес образуется в результате торможения вагонов в горочных системах сортировочных станций из-за использования тормозных башмаков;
- повреждения колес, обусловленные воздействием тормозных колодок на поверхность катания колес (навары и кольцевые выработки) составляют для колес марки 2 – 4 %, а для колес марки Т – 1 %. Т.е., колеса марки Т в 4 раза более стойки к повреждениям данного типа, чем колеса марки 2;
- повреждения поверхности катания колес износового и пластинчатого типа (уменьшение толщины гребня, вертикальный подрез гребня, равномерный и неравномерный прокат) составляет для колес марки 2 – 19 %, а для колес марки Т – 11 %. Повреждений данного типа на колесах марки 2 возникает на 72 % больше, чем на колесах марки Т.

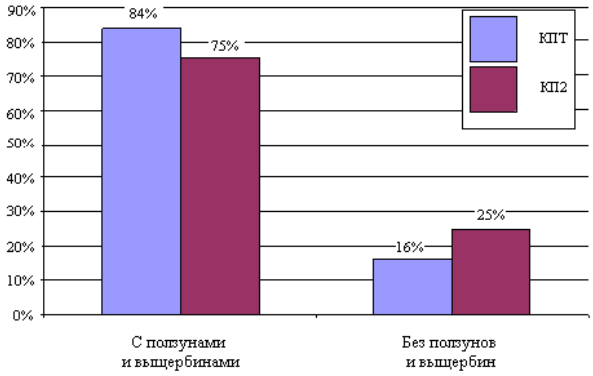


Рис. 9. Наличие ползунов и выщербин на колесах

2. Экспериментальные данные, полученные в процессе исследования, свидетельствуют о том, что колеса повышенной прочности по сравнению с колесами марки 2 показывают меньшую повреждаемость по наварам, износам гребней, круговым наплывам металла, кольцевым выработкам, вертикальному подрезу и остроконечному накату гребней, неравномерному прокату и по ползунам. В целом, перечисленные дефекты у колес марки 2 встречаются у 23,0 %, а у колес марки Т – у 13,2 %.

3. На поверхности катания колес повышенной прочности встречается меньшее количество ползунов, но средняя глубина ползунов на этих колесах немного бóльшая. Это объясняется тем, что ползуны на колесах марки 2 после некоторого пробега закатываются и уменьшается их величина, а на колесах марки Т такой процесс не наблюдается.
4. У колес с маркой Т, по сравнению с колесами марки 2, дефекты в виде ползунов до 1,2 мм почти не возникают.
5. Необходимо провести исследования технологического процесса работы сортировочных горок на предмет образования ползунов. При этом особое внимание уделить следующим параметрам:

- скорости роспуска вагонов с горки;
- весу скатываемых вагонов и сцепов;
- длине пути тормозного пути при использовании тормозных башмаков на немеханизированных горках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лашко, А. Д. К вопросу о стратегии Укрзализныци по решению проблемы устранения сверхнормативных износов пары «колесо-рельс) [Текст] / А. Д. Лашко, О. М. Савчук // Залізн. трансп. України. – 1997. – № 2-3. – С. 2-4.
2. Харченко, И. Г. Эксплуатационная надежность колесных пар грузовых вагонов [Текст] / И. Г. Харченко // Вагонный парк. – 2008. – № 2. – С. 21-22.

Поступила в редколлегию 14.04.2010.
Принята к печати 19.04.2010.

УДК 669.715

А. Е. ОСТРОВСКАЯ, И. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запорожье)

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЮ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Було проведено дослідження впливу інтерметалідних фаз на механізм руйнування вторинних силумінів.

Было проведено исследование влияния интерметаллидных фаз на механизм усталостного разрушения вторичных алюминиевых сплавов.

Investigation of the influence of intermetallic phases on the mechanism of fatigue fracture of the secondary aluminum alloys was made.

Вступление

Силумины – литейные алюминиевые сплавы, обладающие хорошим комплексом механических и технологических свойств. В последние годы область их применения значительно расширилась, так что в современном машиностроении детали из силуминов в процессе эксплуатации поддаются влиянию не только статических, но и циклических нагрузок.

Поведение силуминов при циклических нагрузках частично изучено в работах Луговского Ю. Ф. [1] и Митяева А. А. [2, 3]. Однако все ещё мало изучены усталостные процессы во вторичных силуминах с высоким содержанием железа.

Целью данной работы было изучение влияния интерметаллидных фаз на усталостное разрушение вторичных силуминов.

Материалы и методика исследований

В работе исследовался вторичный силумин АК8М3. Плавки проводились в электрической печи сопротивления в чугунном тигле. При температуре 710 °С было проведено модифицирование комплексным модификатором [4]. Отливки были термообработаны по схеме: закалка с температуры 500 ± 10 °С и старение при 180 ± 10 °С.

Металлографический количественный и качественный анализ сплава проводился на оптическом микроскопе МИМ-8, испытания на малоцикловую усталость на установке ИП-2 на плоских образцах повторно-переменным изгибом (деформация образцов $\varepsilon = 0{,}3$ %).

Фрактографические исследования изломов образцов после усталостных испытаний проводились на электронном микроскопе.

Результаты испытаний

Согласно металлографическим исследованиям сплава АК8М3 было выделено три типа включений в его структуре:

1-й тип – пластинчатые включения светло-серого цвета – фаза β (Al_5SiFe);

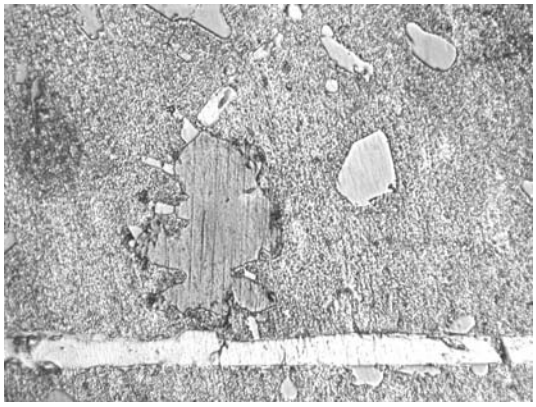
2-й тип – включения формы правильных многогранников коричневого цвета – фаза α ($Al_{15}(FeMn)_3Si_2$);0

3-й тип – включения серого цвета овальной формы – частички Si или θ-фаза ($CuAl_2$).

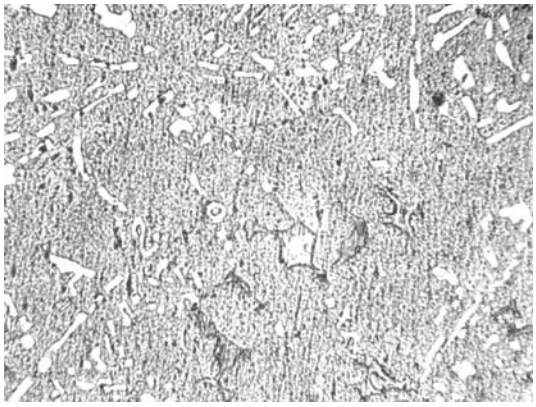
Изменения морфологии включений в зависимости от содержания железа и присадки модификатора М представлены на рис. 1.

При максимальном содержании железа и минимальной присадке модификатора были получены интерметаллидные фазы наибольшего размера и наиболее неблагоприятной формы. Интерметаллиды Al_5SiFe (β-фаза) имели форму длинных пластин, средний параметр формы λ_β которых составлял 62,3. Включения α-фазы имели форму многоугольников. Общий параметр формы $\lambda_{общ}$ включений равнялся 12,6. При минимальном содержании железа и максимальной присадке модификатора размер β-фазы значительно уменьшается и параметр формы λ_β составлял 6,98. Форма α-фазы изменяется на иероглифоподобную. Общий параметр формы включений $\lambda_{общ}$ снизился до 2,28. При средних значениях содержания железа и присадки модификатора микроструктура сплава находилась в переходном состоянии – встречались как крупные, так и мелкие включения β-фазы, форма включений α-фазы варьировалась от крупных многогранников до «китайских иероглифов». Параметр формы β-фазы λ_β занимал промежуточное значение 7,87, общий параметр формы включений $\lambda_{общ}$ составлял 2,79.

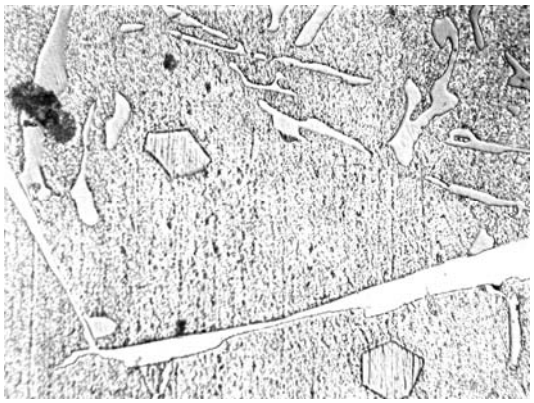
© Островская А. Е., Волчок И. П., 2010



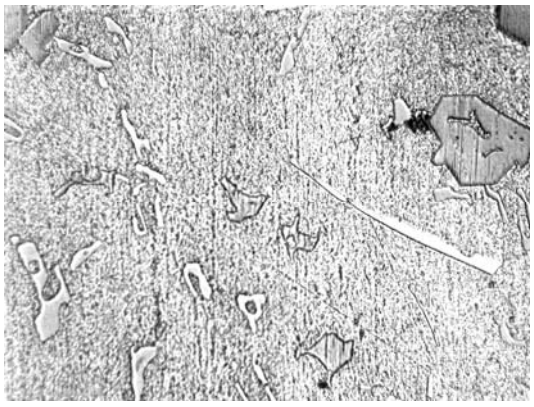
а



б



в



г

Рис. 1. Микроструктура сплава АК8М3 (×500):
а – 2,0 % Fe, 0,06%М; *б* – 1,0 % Fe, 0,18 % М;
в, *г* – 1,5 % Fe, 0,12 % М

Результаты испытаний на малоцикловую усталость показали наличие четкой связи между морфологией интерметаллидных фаз и сопротивлением усталости сплава АК8М3. Были рассчитаны коэффициенты корреляции для общего параметра формы $\lambda_{общ}$ и параметра формы β-фазы λ_β. Максимальный коэффициент корреляции (–0,97) получен между параметром формы β-фазы λ_β и числом циклов до разрушения *N*. Это говорит о том, что среди микроструктурных составляющих сплава АК8М3 максимальное влияние на усталостные характеристики сплава имеет интерметаллидная железосодержащая β-фаза. На рис. 2 графически представлена зависимость сопротивления усталости от параметра формы β-фазы λ_β.

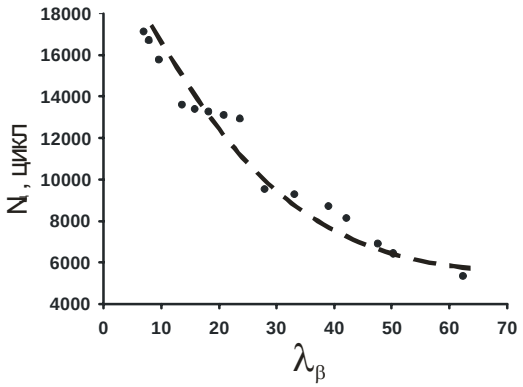
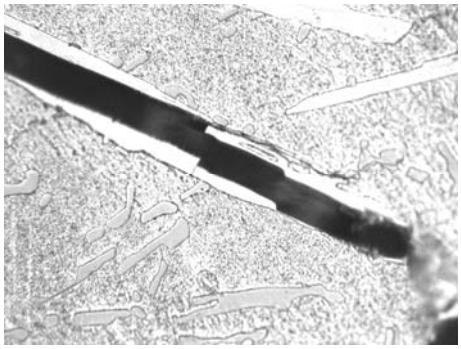


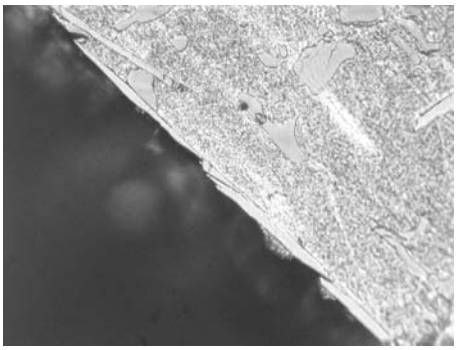
Рис. 2. Зависимость сопротивления усталости сплава АК8М3 от параметра формы β-фазы λ_β

Из рис. 2 видно, что полученная кривая зависимости имеет асимптотический характер. Это означает, что при увеличении параметра формы β-фазы сопротивление усталости $N_ц$ снижается до определенного минимального значения и при дальнейшем изменении параметра формы β-фазы изменялось незначительно.

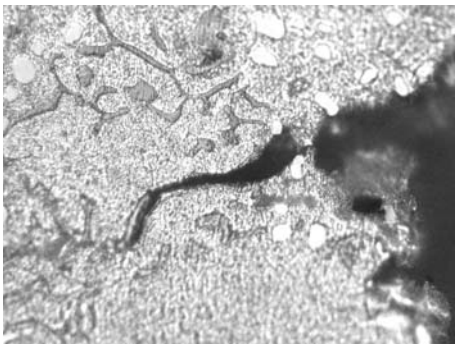
На рис. 3 представлен микродеформационный рельеф сплава АК8М3 после усталостного разрушения. Как видно из рис. 5 (*а*, *б*), при наличии в микроструктуре крупных пластин включений β-фазы первые усталостные трещины появлялись именно в них уже через 200…300 циклов нагружения. Это объясняется тем, что β-фаза очень хрупкая. При дальнейшем нагружении трещины из включений переходили в матрицу сплава и, сливаясь в магистральную трещину, разрушали образец. При отсутствии в структуре сплава крупных пластин β-фазы трещина проходила через включения α-фазы, кремния и θ-фазы. Однако в этом случае, т.к. эти включения имеют меньшие размеры и более компактную форму, разрушение образцов происходило значительно позже.



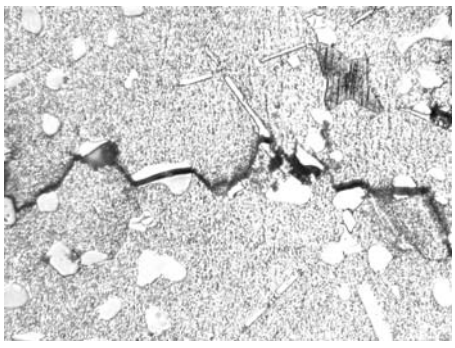
а



б



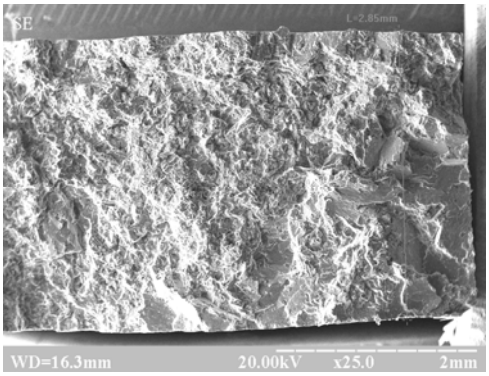
в



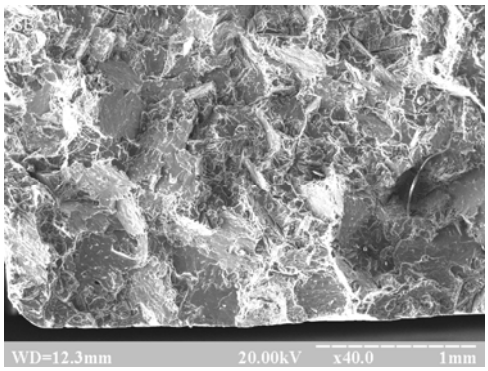
г

Рис. 3. Микродеформационный рельеф сплава АК8М3 после усталостного разрушения (×500):
а, *б* – 2,0 % Fe, 0,06 %М; *в*, *г* – 1,0 % Fe, 0,18 % М

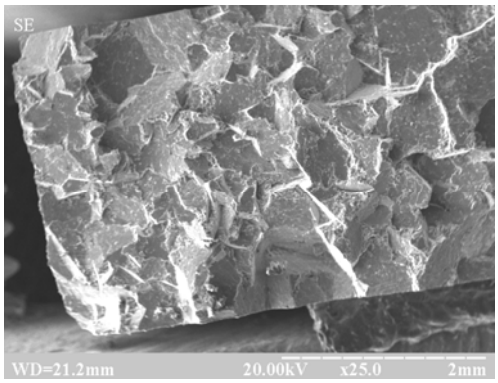
На рис. 4 представлены фрактограммы изломов разрушенных образцов сплава АК8М3. С повышением присадки модификатора и снижением содержания железа характер излома изменялся с хрупкого на смешанный с преобладанием хрупкой, а затем вязкой составляющей. Очевидно, что такие изменения связаны с изменением микроструктуры.



а ×25



б ×40

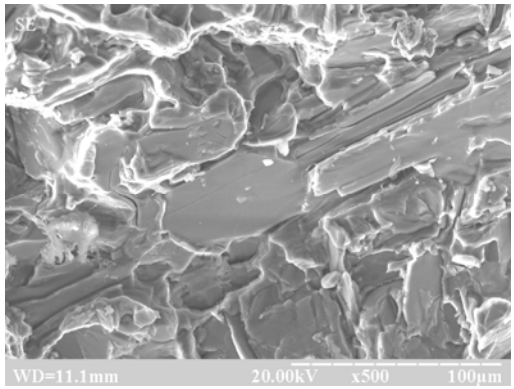


в ×25

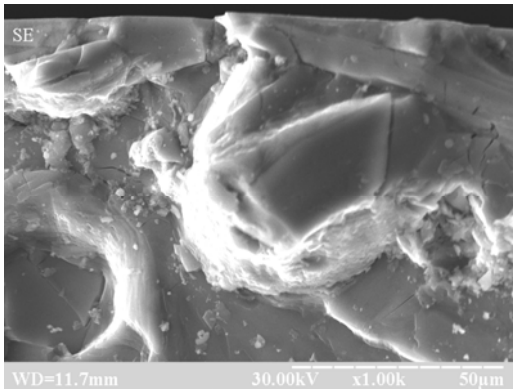
Рис. 4. Фрактограммы изломов сплава АК8М3 после усталостного разрушения:
а – 1,0 % Fe, 0,18 % М; *б* – 1,5 % Fe, 0,12 % М;
в – 2,0 % Fe, 0,06 % М

На рис. 5 представлены интерметаллидные включения на поверхности усталостных изломов сплава АК8М3. В центре на рис. 5*а* находится пластинчатое включение β-фазы, которое расслоилось под. действием циклических нагрузок. Возле некоторых крупных включений наблюдались ступеньки материала матрицы (рис. 5*б*). Анализ изломов образцов позволил сделать заключение о низкой пластичности β-фазы, что подтверждается растрескиванием пластин её включений (рис. 5*в*). Крупные пла-

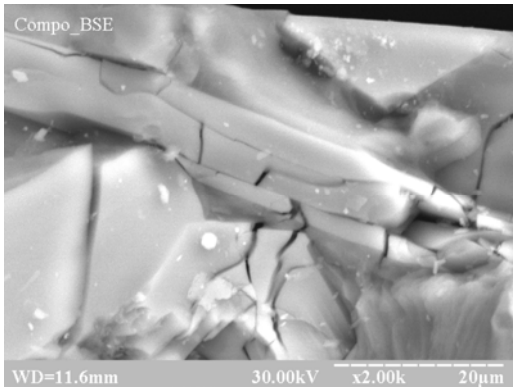
стины включений β-фазы также способствовали образованию вторичных трещин (рис. 5*г*).



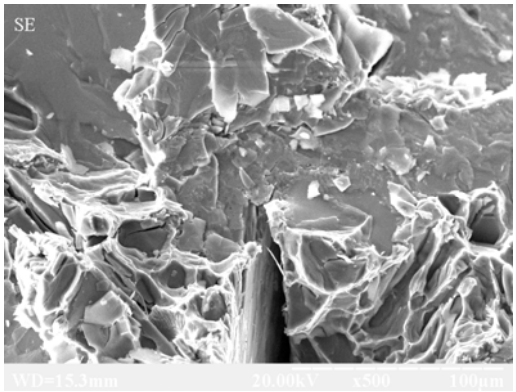
а ×500



б ×1000



в ×2000



г ×500

Рис. 5. Изломы сплава АК8М3 после усталостного разрушения:
а, *б* – 1,0 % Fe, 0,18 % М; *в* – 1,5 % Fe, 0,12 % М;
г – 2,0 % Fe, 0,06 % М

Выводы

Установлена обратно пропорциональная связь между морфологией интерметаллидных фаз (в частности, β-фазы ($FeSiAl_5$)) и сопротивлением усталости. Исследования показали, что уменьшение параметра формы β-фазы λ_β в 8,9 раза привело к росту сопротивления усталости в 3,2 раза. Уменьшение размеров интерметаллидных включений было достигнуто благодаря модифицированию специально разработанным комплексом, позволившим нейтрализовать вредное влияние железосодержащих интерметаллидов и повысить усталостные свойства вторичных силуминов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Луговской, Ю. Ф. Прогнозирование влияния структуры на малоцикловую усталость сплавов на основе алюминия [Текст] / Ю. Ф. Луговской // Металлофизика и новейшие технологии. – 2002. – С. 423-430.
2. Мітяєв, О. А. Підвищення малоциклової втоми вторинних силумінів [Текст] / О. А. Мітяєв, І. П. Волчок // Стратегія якості у промисловості та освіті: зб. наук. пр. – Д., 2005. – С. 112-116.
3. Мітяєв, О. А. Малоциклова втома вторинних алюмінієвих сплавів [Текст] / О. А. Мітяєв, І. П. Волчок, С. Г. Рязанов // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України. – Львів, 2004. – С. 629-632.
4. Пат. 42653 Україна, МКВ С22С 1/00. Модифікатор для алюмінієвих сплавів [Текст] / Волчок І. П., Мітяєв О. А., Островська А. Є., Скуйбіда О. Л. ; заявник і патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т. – № 200902454; заявл. 19.03.2009; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13.

Надійшла до редколегії 12.05.2010.
Прийнята до друку 23.05.2010.

УДК 669.71

О. Л. СКУЙБІДА, І. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запоріжжя)

ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННОГО СИЛУМІНУ АК5М2

Вивчалась ефективність рафінувально-модифікувальної обробки вторинного алюмінієвого сплаву АК5М2. Було розроблено та використано модифікатор складу 0…20 % Na_2CO_3, 15…20 % $SrCO_3$, 12…20 % SiC, 3…8 % Ti, 0,5…2 % C, решта S. Отримано покращення показників міцності та пластичності сплаву.

Изучалась эффективность рафинирующе-модифицирующей обработки вторичного алюминиевого сплава АК5М2. Был разработан и применен модификатор состава 0…20 % Na_2CO_3, 15…20 % $SrCO_3$, 12…20 % SiC, 3…8 % Ti, 0,5…2 % C, остальное S. Получено улучшение показателей прочности и пластичности сплава.

The effect of refining-modifying treatment of secondary aluminum alloy АК5М2 was researched. The modifier 10…20 % Na_2CO_3, 15…20 % $SrCO_3$, 12…20 % SiC, 3…8 % Ti, 0,5…2 % C, the rest S was worked out and used. The improvement of tensile strength and plasticity of the alloy was obtained.

Постановка проблеми

В виробництві алюмінієвих сплавів все більшого розповсюдження здобуває використання вторинної сировини. При цьому поряд зі зниженням собівартості продукції та покращенням екологічної ситуації постає проблема якості вторинних алюмінієвих сплавів, що пов'язано із значною забрудненістю шихтових матеріалів металевими та неметалевими домішками, а також ефектом металургійної спадковості. В результаті структурі вторинних сплавів на основі алюмінію властива крупнозернистість, підвищена неоднорідність та наявність великих скупчень залізовмісних інтерметалідів несприятливої голко- або пластиноподібної форми.

Для усунення суттєвої різниці якості первинних та вторинних сплавів на основі алюмінію важливо забезпечити високу чистоту матеріалу відливок за неметалевими вкрапленнями і сформувати модифіковану структуру, для якої була б характерна однорідність та наявність подрібнених кристалів евтектичного кремнію, а також залізовмісних фаз сприятливої морфології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

З метою підвищення якості вторинних алюмінієвих сплавів використовується ряд фізичних та механічних методів впливу на розплав (продування газами, фільтрація, вібраційне перемішування, обробка електричним струмом, вистоювання в інертній атмосфері або вакуумі тощо), причому як найбільш прості, технологічні та економічно доцільні можна розглядати методи рафінування та модифікування.

Сьогодні як компоненти рафінувальних комплексів та модифікаторів й досі широко використовують токсичні та небезпечні речовини, а також застарілі й малоефективні технології обробки, що позначається на низькій якості вторинних алюмінієвих сплавів українського виробництва. Таким чином, постала нагальна потреба в удосконаленні технологічних процесів рафінування та модифікування вторинних сплавів на основі алюмінію з метою підвищення рівня механічних та експлуатаційних властивостей.

Викладення основного матеріалу

Об'єктом досліджень виступав вторинний силумін АК5М2, який застосовується для виготовлення середньонавантажених деталей різноманітного призначення, в т.ч. для товарів культурно-побутового споживання, виробів електротехнічної промисловості та машинобудування.

Плавлення сплаву АК5М2 здійснювали в електричній печі опору під шаром стандартного флюсу (15 % KCl, 45 % NaCl, 40 % AlF_3), який захищав метал від окислення і забезпечував часткове очищення розплаву від розчинених газів. Флюс додавали у кількості 2 % від маси

© Скуйбіда О. Л., Волчок І. П., 2010

розплаву, знімаючи його після введення модифікатора. Для підвищення рівня механічних властивостей вторинного силуміну АК5М2 нами було розроблено і запатентовано модифікатор складу 10…20 % Na_2CO_3, 15…20 % $SrCO_3$, 12…20 % SiC, 3…8 % Ti, 0,5…2 % C, решта S. Присадки модифікатора (0,1 % від маси сплаву) вводили при температурі 720 ± 10 °С за допомогою ливарного дзвоника. Метал витримували в шамотному тигелі при температурі 720 ± 10 °С протягом 5 хв., після чого відливали зразки для аналізу макро- та мікроструктури, а також випробувань механічних властивостей. Зразки піддавали термічній обробці за режимом Т5 (нагрівання до (525±5) °С, витримка 4 год, гартування з наступним старінням при (175±5) ° С протягом 8 год).

Наявність у флюсі, що використовувався, хлориду натрію, хлориду калію і фториду алюмінію обумовили утворення на поверхні розплаву захисної плівки, вилучення твердих частинок неметалевих вкраплень та часткову дегазацію розплаву. Натрій та калій, зменшуючи поверхневий натяг рідкого металу на поверхні кристалів, що ростуть, сприяли отриманню тонкодиференційованої структури. Сполука AlF_3 сприяла зменшенню натягу на межі поділу метал-флюс та збільшенню ступеня рафінування. Також фторид алюмінію забезпечував розчинення плівки оксиду алюмінію, а хлориди натрію та калію знижували їх температуру плавлення. Використання суміші хлоридів та фтористої солі привело до зміцнення плівки на поверхні сольового розплаву та збільшення крайового кута змочування.

Оскільки одне лише рафінування часто не дозволяє досягти бажаного підвищення якості сплавів, виготовлених із вторинної сировини, після флюсового рафінування здійснювали операцію модифікування.

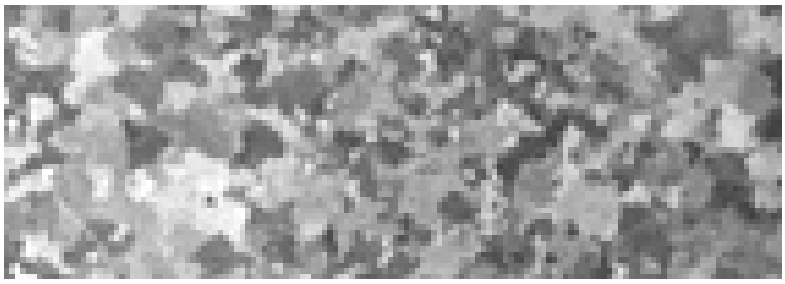
В рідких сплавах Al-Si існують мікронеоднорідності – гетерофазні комплекси атомів кремнію, які знаходяться в динамічній рівновазі з оточуючим розплавом та характеризуються ненаправленими ковалентними зв’язками Si-Si. В процесі кристалізації силумінів формуються грубоголчасті евтектики, первинні кристали кремнію ростуть у вигляді пластин з розвиненими гранями, що викликає окрихчування сплавів. Атоми алюмінію евтектики α-Al – β-Si є акцепторами, тоді як атоми кремнію – донорами. Кристалізація евтектики характеризується максимальною локалізацією електронної густини за напрямком зв’язків Si-Si. Залізовмісні фази за звичайних температур кристалізації мають грубокристалічну будову, викликають погіршення механічних властивостей, особливо пластичності. Залізовмісним фазам властивий ковалентний тип міжатомних зв’язків, що обумовлює їх направленість при кристалізації.

При виборі компонентів модифікатора керувалися необхідністю управління процесом кристалізації евтектики і нейтралізації основної шкідливої домішки таких сплавів – заліза. Для отримання сприятливої структури та морфології кристалізаційних утворень перевагу віддавали елементам-модифікаторам, які змінюють ковалений зв’язок міжатомної взаємодії на металевий ненаправлений. Для підвищення тривалості модифікувального ефекту та суттєвого покращення якості матеріалу використовували модифікатори як І-го, так і ІІ-го роду.

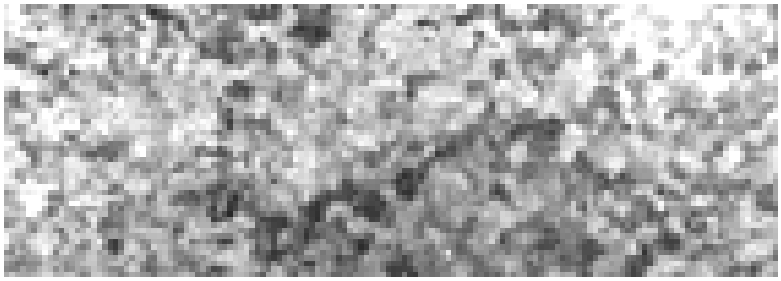
Присутні у складі модифікатора сірка та карбонати натрію і стронцію забезпечували додатковий рафінувальний вплив на розплав, забезпечивши ефективне видалення розчиненого водню за адсорбційним і флотаційним механізмами. Сірка обумовила компактність, рівномірний розподіл та сприятливу морфологію залізовмісних фаз. Натрій та стронцій викликали втрату направленості та металізацію зв’язків міжатомної взаємодії, що позначилось на подрібненні та коагуляції кристалів кремнію. Накопичуючись на фронті кристалізації, натрій та стронцій забезпечили кооперативний ріст евтектичних фаз та модифікування евтектики, змінюючи морфологію евтектичного кремнію з пластинчатої на стрижньову, а також підвищуючи його дисперсність. Сріблястий графіт відігравав роль модифікатора ІІ-го роду, створюючи додаткові центри зародкоутворення та підвищуючи ступінь подрібнення структурних складових. Сполука Al_3Ti, яка утворювалась при введенні титану, сприяла виникненню донорно-акцепторних зв’язків між атомами модифікатора та алюмінію, і, відповідно, модифікуванню α-твердого розчину. Ультрадисперсний карбід кремнію забезпечував зменшення довжини дендритів першого порядку. Частинки SiC накопичувались перед фронтом кристалізації та забезпечували переохолодження, збільшення кількості і змен-

шення розмірів, а також зміну форми евтектичних складових алюмінієвого сплаву на більш компактну.

Аналіз макроструктури показав суттєве подрібнення зерна при використанні флюсового рафінування та наступного модифікування запропонованим комплексом в порівнянні з однією лише рафінувальною обробкою (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Макроструктура зразків зі сплаву АК5М2 після термічної обробки за режимом Т5 (х2):
а – після обробки флюсом, *б* – після флюсового рафінування та модифікування

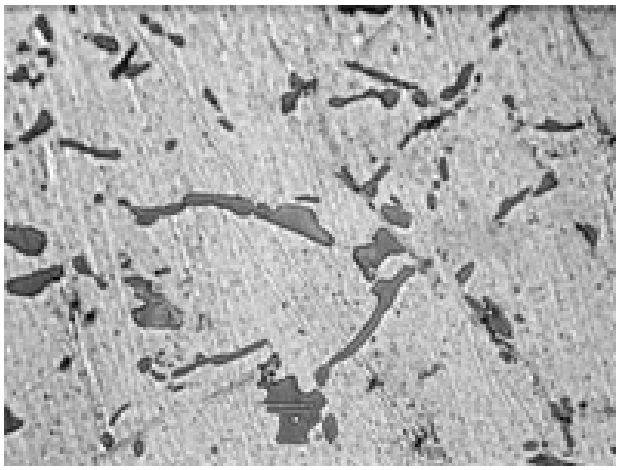
В структурі зразків після флюсового рафінування (рис. 2, *а*) були присутні великі за розміром поодинокі кристали первинного кремнію, пластинчаті витягнуті виділення евтектичного кремнію, а також окремі виділення інтерметалідних фаз на тлі алюмінієвого твердого розчину. Кристалічний кремній в алюмінієвій матриці був розташований нерівномірно та характеризувався широким діапазоном розмірів частинок.

Після оброблення флюсом та модифікатором структура набула однорідності та тонкої диференціації (рис. 2, *б*). Після плавлення під шаром флюсу та модифікування в ковші структурні складові значно подрібнились, зменшилась відстань між ними, зросла компактність форми, знизилась об'ємна кількість інтерметалідних фаз, що врешті-решт позначилось на збільшенні запасу міцності та пластичності сплаву АК5М2.

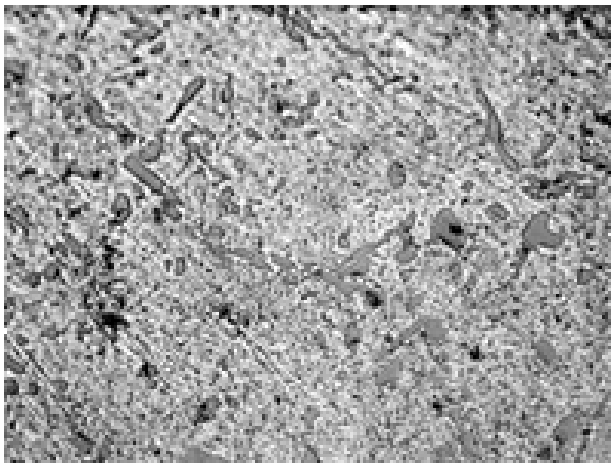
У випадку дрібнодисперсних інтерметалідних фаз та модифікованого евтектичного кремнію, рівномірного розподілу надлишкових вкраплень в структурі, магістральна тріщина сильно розгалужується, що обумовлює високу енергоємність процесу руйнування матеріалу. Якщо крупні частинки крихких інтерметалідів розміщуються у вигляді суцільних ланцюжків по межам зерен, то сплав має низькі значення пластичності та міцності. У тому випадку, коли вони рівномірно розподіляються за об'ємом сплаву АК5М2 у вигляді компактних вкраплень, що спостерігалося після модифікувальної обробки, механічні властивості підвищуються. Компактність вкраплень інтерметалідних фаз позначається на підвищенні показників міцності та пластичності в порівнянні з голчастими та пластинчатими частинками, навіть якщо останні розподіляються лише по тілу зерна. Ці явища пов'язані з легким зародженням та розвитком тріщин вздовж та поряд з межами зерен, що мають виділення надлишкових фаз, та витягнених частинок другої фази.

Ефективність використання запропонованого модифікатора підтверджується результатами механічних випробувань (табл. 1). При двоступеневому обробленні флюсом та модифікатором спостерігається зростання показників

механічних властивостей в порівнянні з однократним обробленням флюсом: границі міцності при розтягу $\sigma^{p}_{в}$ на 11 %, границі міцності при стисненні $\sigma^{c}_{в}$ на 15,5 %, відносного подовження φ на 24,3 %, відносного осадження ε на 17, 4 %.



а



б

Рис. 2. Мікроструктура зразків зі сплаву АК5М2 після термічної обробки за режимом Т5 (х750): а – після обробки флюсом, б – після флюсового рафінування та модифікування

Висновки та перспективи подальших досліджень

Спільне використання стандартного флюсу та розробленого модифікатора в порівнянні з однією лише флюсовою обробкою привело до суттєвого подрібнення зерна вторинного силуміну АК5М2, диспергування та диференціації структурних складових, зменшення об'ємної частки залізовмісних інтерметалідів та збільшення їх компактності, покращення показників міцності та пластичності.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень дії модифікатора на механічні властивості сплаву АК5М2

Вид обробки	Випробування на розтяг		Випробування на стиснення	
	$\sigma^{p}_{в}$, МПа	φ, %	$\sigma^{c}_{в}$, МПа	ε, %
Плавлення під флюсом	157,5	3,5	361,6	37,6
Плавлення під флюсом та модифікування в ковші	174,6	4,4	417,6	44,2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Системный поход к качеству литья и препараты для эффективной печной и внепечной обработки сплавов на основе алюминия [Текст] / С. П. Задруцкий [и др.] // Литье Украины. – 2005. – № 2. – С. 29-38.
2. Немененок, Б. М. Комплексное модифицирование промышленных силуминов [Текст] / Б. М. Немененок // Литейное производство. – 1999. – № 3. – С. 22-23.
3. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини [Текст] : навч. посібник / за ред. Т. М. Нестеренко. – К.: Вища шк., 2007. – 207 с.
4. Наследственное влияние происхождения шихтовых металлов на качество алюминиевых сплавов в условиях АО «АвтоВАЗ» [Текст] / И. М. Скрипников [и др.]. – (Наследственность в литейных сплавах) // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 2-3.
5. Кольчурина, И. Ю. Разработка и освоение технологии модифицирования алюминиевых сплавов комплексными лигатурами на основе техногенных отходов [Текст] : дис. … канд. техн. наук / И. Ю. Кольчурина. – Новокузнецк, 2006. – 221 с.
6. Концепция модульных технологий получения качественных отливок из алюминиевых сплавов [Текст] / С. П. Королев [и др.] // Литейное производство. – 2002. – № 8. – С. 14-18.

Надійшла до редколегії 15.04.2010.
Прийнята до друку 28.04.2010.

УДК 532.696 : 621.92

Е. В. СУХОВАЯ, Ю. В. СЫРОВАТКО (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)

ВЛИЯНИЕ ФОСФОРА И МОЛИБДЕНА НА МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКУ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ СО СВЯЗКОЙ Fe-B-C

У роботі досліджено структуру і властивості сплавів Fe-B-C, що містять 1,8 ваг. % B; 3,0 ваг. % C, легованих 0…1 % P, 0…0,5% Mo. Ці сплави вивчено з метою розробки зв'язки композиційних матеріалів, зміцнених карбідами вольфраму. Визначено шляхи зменшення інтенсивності процесів контактної взаємодії, що відбуваються на границях поділу композиційних матеріалів під час просочення.

В работе исследованы структура и свойства сплавов системы Fe-B-C, содержащих 1,8 вес. % B; 3,0 вес. % C, легированных 0…1 % P, 0…0,5 % Mo. Эти сплавы изучены с целью разработки связки композиционных материалов, упрочненных карбидами вольфрама. Найдены пути уменьшения интенсивности процессов контактного взаимодействия, которые происходят на границах раздела композиционных материалах во время пропитки.

The structure and properties of Fe-B-C alloys containing 1.8 weight per cent B, 3.0 weight per cent C, including those that were additionally alloyed with 0…1 weight per cent P, 0…0.5 weight per cent Mo, were investigated in this work. The alloys were studied to work out the binder of composites strengthened with tungsten carbides. The ways to reduce the intensity of contact interaction processes taking place at the interfaces of composites during infiltration were determined.

1. Введение

Эвтектические сплавы системы Fe-B-C сочетают высокую прочность на сжатие и твердость, сопротивление абразивному, газоабразивному износам и коррозии [1, 2]. Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам эти сплавы используются в качестве связок композиционных материалов, предназначенных для наплавки разнообразных деталей металлургического оборудования, работающих в условиях абразивного и газоабразивного износов. Учитывая вышесказанное, композиционные материалы со связками на железной основе могут быть использованы для создания износостойких покрытий на деталях железнодорожного транспорта. Поэтому в настоящей работе исследованы структура и свойства эвтектических железоборуглеродистых сплавов-связок, легированных фосфором и молибденом, в литом состоянии и в составе композиционных материалов с медленноохлажденным (100 К/с) и быстроохлажденным (1000 К/с) наполнителями. Кроме того, изучено влияние легирующих элементов на интенсивность процессов контактного взаимодействия, происходящих на границах раздела в композиционных материалах при пропитке.

2. Методика эксперимента

Композиционные материалы пропитывали при температуре 1180 °С в течение 30 минут. Состав использованных сплавов-связок указан в табл. 1. В качестве наполнителей использовали гранулы, изготовленные из промышленного сплава «релит» ($V_{охл}$ = 100 К/с), либо гранулы, полученные методом термоцентробежного распыления вращающегося стержня ($V_{охл}$ = = 1000 К/с). Для исследования структуры использовали методы количественного металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов.

Таблица 1

Химический состав композиционных материалов, упрочненных гранулами наполнителя W-C

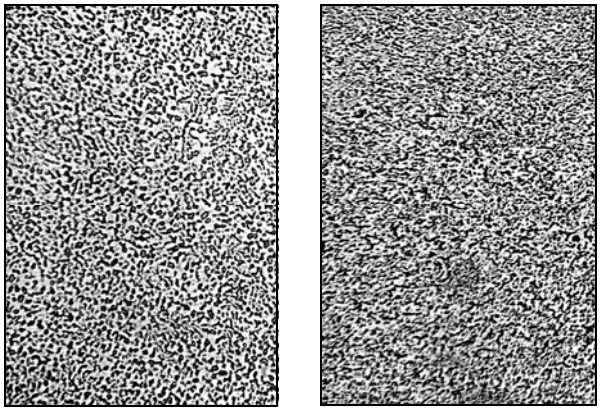
№ сплава	Состав сплава-связки, вес. %	$V_{охл}$ наполнителя, К/с
1к	Fe -1,8% B -3% C -1% P	100
2к	Fe -1,8%B -3%C -1%P -0,5%Mo	100
3к	Fe -1,8% B -3% C -1% P	1000
4к	Fe -1,8%B -3%C -1%P -0,5%Mo	1000

© Суховая Е. В., Сыроватко Ю. В., 2010

3. Результаты эксперимента

С учетом результатов определения физико-химических и физико-механических свойств эвтектических сплавов Fe-B-C [3] основой для разработки состава связки композиционного материала с наполнителем W-C были выбраны сплавы, содержащие 1,8 % B; 3 % C; Fe – ост. В структуре этих сплавов присутствует эвтектика $Fe\text{-}Fe_3(C, B)$.

Металлографический и рентгеноструктурный анализ сплавов Fe-B-C, легированных до 1 % фосфором, свидетельствует о сохранении фазовых и структурных составляющих базового сплава (рис. 1, *а*).



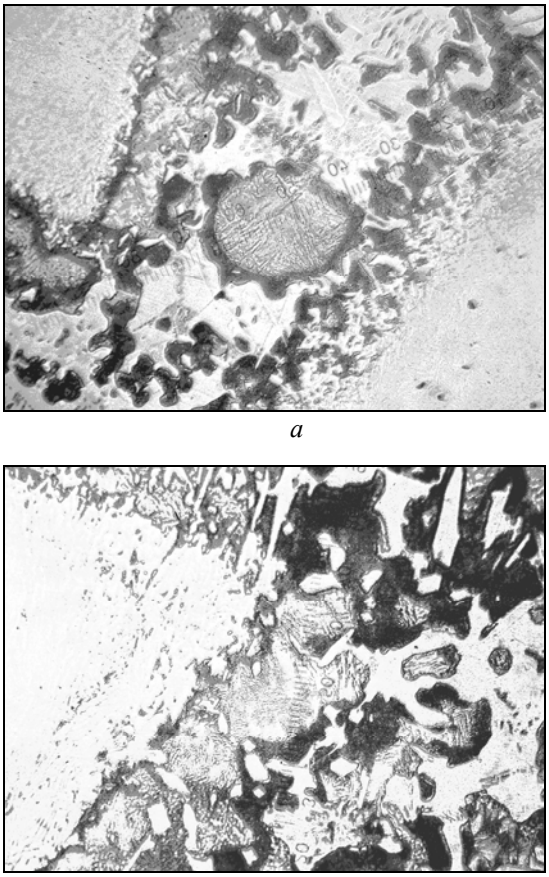
а *б*

Рис. 1. Микроструктура исследованных сплавов-связок композиционны материалов:
а – Fe -1,8 % B -3 % C -1 % P, x200;
б – Fe -1,8 % B-3 % C -1 % P -0,5 % Mo, x250

Методом РСМА установлено, что фосфор преимущественно растворяется в α-Fe и незначительно в фазе $Fe_3(C, B)$. По данным дифференциального термического анализа фосфор снижает критические температуры начала превращений в среднем на 35 °С. Это является положительным результатом, т.к. одним из требований к связке композиционных материалов является ее легкоплавкость. Дополнительное введение до 0,5 % молибдена не влияет на морфологию эвтектических фаз, однако приводит к появлению в структуре связки боридов Mo_2B_5 (рис. 1, *б*).

В результате совместного влияния Mo и P микротвердость эвтектики увеличивается в среднем почти на 20 % по сравнению с этой характеристикой для базового сплава Fe-B-C. Твердость многокомпонентного сплава-связки растет 55,7 до 60,3 HRC. Следовательно, легирование Mo и P эвтектического сплава Fe-B-C обеспечивает снижение температур фазовых превращений при нагреве и охлаждении многокомпонентной связки. Кроме того, введение этих легирующих элементов повышает твердость многокомпонентной связки.

В структуре композиционных материалов, полученных после пропитки наполнителей W-C ($V_{охл}$ = 100 К/с) связкой Fe -1,8 % B -3,0 % C -1 % P, наблюдаются гранулы наполнителя неправильной формы, равномерно распределенные в матрице на железной основе (рис. 2, *а*). Объемное содержание наполнителя составляет около 50 об. % (табл. 2).



а

б

Рис. 2. Микроструктура композиционных материалов с медленноохлажденным наполнителем, x400:
а – сплав-связка Fe -1,8 % B -3 % C -1 % P;
б – сплав-связка Fe -1,8 % B -3 % C -1 % P -0,5 % Mo

Таблица 2

Результаты количественного металлографического анализа образцов композиционных материалов

№ образца	Объемное содержание наполнителя, об. %	Средний размер наполнителя, мкм	Среднее расстояние между гранулами наполнителя, мкм
1к	47,4 ± 5,9	53,7 ± 7,6	59,6 ± 14,1
2к	45,0 ± 4,4	45,1 ± 4,2	56,8 ± 14,2
3к	57,3 ± 9,0	71,1 ± 13,6	47,1 ± 15,2
4к	63,8 ± 7,7	63,1 ± 4,6	41,4 ± 10,7

На границах раздела между сплавом-наполнителем W-C и расплавленной связкой возникают зоны контактного взаимодействия (рис. 2, *а*). Их фазовый и структурный состав иллюстрируют спектры различных участков этой границы (рис. 3).

На границе раздела со стороны наполнителя, который до пропитки имел эвтектическую структуру WC-W_2C, наблюдаются фаза WC (рис. 3, *а*), легированная незначительно железом, и фаза Fe_3W_3C (рис. 3, *б*). Содержание железа в эвтектике WC-W_2C вблизи границы раздела повышено, особенно в фазе WC. Оно постепенно уменьшается по мере удаления вглубь гранулы наполнителя (рис. 3, *в*, *г*). В некоторых случаях следы железа обнаруживаются в центре гранулы наполнителя.

Со стороны железной матрицы в моновариантной эвтектике Fe-(Fe, W)$_3$(C, B) вблизи поверхности раздела с наполнителем присутствуют многочисленные включения фазы Fe_3W_3C (рис. 2, *а*). По сравнению с исходной эта эвтектика легирована вольфрамом и углеродом (рис. 3, *д*), что вызывает увеличение ее микротвердости в зоне взаимодействия на 1,5 ± 0,4 ГПа. Причем, вольфрам преимущественно растворяется в фазе Fe_3(C, B) и в небольших количествах – в α-Fe. В структуре зон взаимодействия со стороны матрицы также наблюдаются глобулярные выделения фазы на основе железа (рис. 3, *е*), идентифицированные как аустенит, легированный вольфрамом и претерпевший перлитный распад.

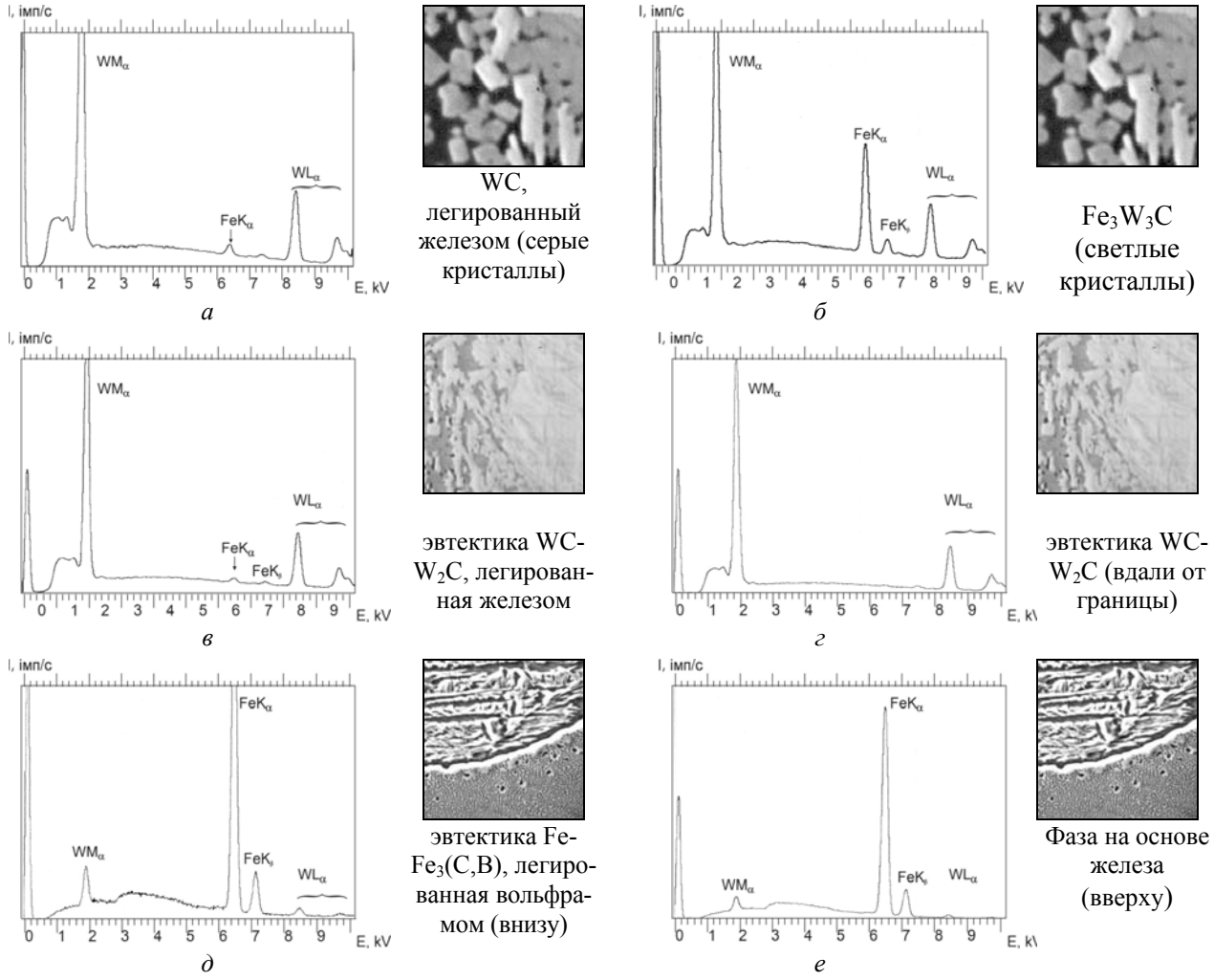


Рис. 3. Микроструктуры и спектры участков границы раздела между наполнителем W-C и связкой Fe -1,8 % B -3,0 % C -1 % P со стороны:
а – WC, легированный железом; *б* – Fe_3W_3C;
в – эвтектический наполнитель (WC-W_2C), легированный железом, вблизи границы раздела;
г – эвтектический наполнитель (WC-W_2C) вдали от границы раздела;
д – матрица на основе эвтектического сплава Fe-B-C-P вдали от границы раздела;
е – распавшийся аустенит

Таблица 3

Фазовый состав и ширина зон контактного взаимодействия на границах раздела композиционных материалов

№ образца	Со стороны наполнителя		Со стороны матрицы		Суммарная ширина зон контактного взаимодействия, мкм
	Фазовый состав	Ширина зон контактного взаимодействия, мкм	Фазовый состав	Ширина зон контактного взаимод., мкм	
1к	WC, Fe_3W_3C	21,0 ± 2,0	распавшийся аустенит, Fe_3W_3C, WC	90,0 ± 9,4	111,0 ± 11,4
2к		16,1 ± 1,6		88,8 ± 10,4	104,9 ± 12
3к		17,9 ± 1,6		47,0 ± 3,3	64,9 ± 4,9
4к		15,8 ± 1,1		35,6 ± 3,3	51,4 ± 4,4

Таблица 4

Объемное содержание фаз в зоне контактного взаимодействия со стороны матрицы

№ образца	Объемное содержание фаз, %		
	распавшийся аустенит	Fe_3W_3C	WC
1к	71,1 ± 5,9	17,0 ± 3,4	14,8 ± 6,8
2к	65,4 ± 17,6	17,6 ± 4,8	15,4 ± 5,2
3к	77,2 ± 6,7	9,7 ± 3,8	12,5 ± 8,8
4к	79,3 ± 8,3	7,6 ± 3,6	11,9 ± 5,0

После пропитки сплавом-связкой Fe - 1,8 % B - 3 % C - 1% P - 0,5 % Mo объемное содержание выделений фазы Fe_3W_3C вблизи границ раздела между наполнителем и матрицей практически не изменяется. Содержание вольфрама в эвтектике вблизи поверхности раздела и ширина зон контактного взаимодействия остаются на прежнем уровне (табл. 3, 4).

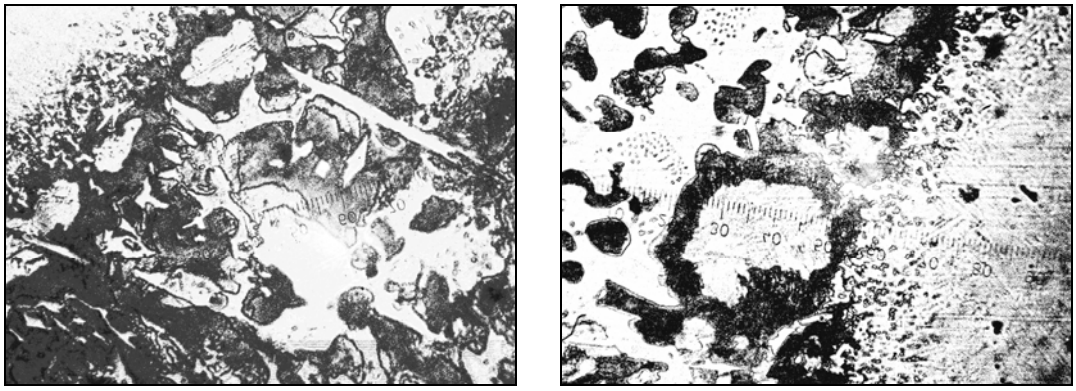
При увеличении скорости охлаждения наполнителя W-C до 1000 К/с скорость растворения сферических гранул в связке Fe - 1,8 % B - 3 % C - 1 % P снижается, о чем свидетельствует уменьшение ширины зон контактного взаимодействия, образующихся между наполнителем и матрицей, почти в 2 раза (табл. 3). Со стороны матрицы увеличивается объемное содержание кристаллов со структурой перлита и уменьшается – фазы Fe_3W_3C.

Легирование молибденом вызывает дополнительное уменьшение ширины зон контактного взаимодействия в среднем на 20 % (рис. 4, *б*, табл. 3, 4). Эти зоны, в основном, образуются со стороны гранул наполнителя вследствие обезуглероживания поверхностного слоя эвтектического сплава WC-W_2C при пропитке (рис. 4, *а*), что подтверждается результатами определения микротвердости структурных составляющих, присутствующих в зонах контактного взаимодействия композиционных материалов (табл. 5).

С уменьшением интенсивности процессов контактного взаимодействия на границах раздела с быстроохлажденным наполнителем связано снижение микротвердости аустенитной фазы, особенно в случае пропитки связкой, легированной молибденом (табл. 6). Следовательно, скорость растворения быстроохлажденных карбидов вольфрама в комплекснолегированной связке на основе эвтектического сплава Fe-B-C снижается.

4. Обсуждение результатов

Выявленные особенности структурного и фазового состава границ раздела в исследованных композиционных материалах можно объяснить их формированием по растворно-диффузионному механизму. При смачивании гранул наполнителей расплавленной связкой эвтектическая фаза W_2C наполнителя растворяется с большой скоростью. В результате эта фаза практически отсутствует в структуре зон контактного взаимодействия. Карбид WC растворяется с очень малой скоростью, и после пропитки он присутствует в структуре границ раздела со стороны наполнителя.



а *б*

Рис. 4. Микроструктура композиционных материалов с быстроохлажденным наполнителем, х1000:
а – сплав-связка Fe - 1,8 % B - 3 % C - 1 % P; *б* – сплав-связка Fe - 1,8 % B - 3 % C - 1 % P - 0,5 % Mo

Таблица 5

Общая микротвердость структурных составляющих в композиционных материалах, ГПа

№ образца	матрица			наполнитель		
	Возле границы	На расстоянии от границы	Относит. изменение, %	Возле границы	На расстоянии от границы	Относит. изменение, %
1к	5,4 ± 0,3	6,9 ± 1,0	27,7	15,8 ± 1,2	15,9 ± 1,8	0,5
2к	5,7 ± 0,3	6,6 ± 4,0	14,0	17,0 ± 5,5	20,1 ± 8,1	18,0
3к	5,5 ± 2,9	5,6 ± 1,0	2,6	22,3 ± 4,8	25,2 ± 3,6	13,1
4к	4,9 ± 2,3	5,2 ± 0,6	6,5	20,0 ± 1,5	20,9 ± 3,3	4,0

При последующей перекристаллизации вследствие растворения, в основном, карбидов W_2C в расплаве Fe-B-C в зоне контактного взаимодействия со стороны наполнителя образуется сплошной слой фазы Fe_3W_3C. Многочисленные включения этой фазы также наблюдаются в матрице композиционного материала.

Растворение фазы W_2C при пропитке приводит к изменению состава эвтектической связки Fe-B-C на доэвтектический. Поэтому из жидкости при затвердевании вначале выделяются первичные кристаллы аустенита. Затем кристаллизуется эвтектика Fe-$(Fe,W)_3$(C,B), отличающаяся от исходной эвтектики содержанием железа, вольфрама и углерода. Зарождение первичных кристаллов аустенита облегчено на поверхности карбидов Fe_3W_3C. Поэтому эта структурная составляющая, в основном, сосредоточена на границах раздела между наполнителем и матрицей. При последующем охлаждении аустенит претерпевает распад в твердом состоянии. В результате в микроструктуре зоны контактного взаимодействия регистрируются выделения со структурой перлита, имеющие повышенное содержание вольфрама и наследующие форму первичных кристаллов аустенита. Многочисленные выделения кристаллов цементита образуются преимущественно в середине кристаллов аустенита. На их периферии выделения Fe_3C практически отсутствуют, что можно объяснить неравномерным распределением углерода вдоль сечения кристаллов аустнита из-за дендритной ликвации.

Таблица 6

Микромеханические свойства распавшегося аустенита в зоне контактного взаимодействия

Свойство	Наполнитель			
	$V_{охл}$ = 100 К/с		$V_{охл}$ = 1000 К/с	
	Связка Fe-B-C-P	Связка Fe-B-C-P-Mo	Связка Fe-B-C-P	Связка Fe-B-C-P-Mo
Микротвердость, ГПа	5,29	5,30	4,48	4,20
Микрохрупкость, отн. ед.	0,041	0,036	0,028	0,015
Хрупкая микропрочность, ГПа	2,75	2,76	2,38	2,25

При повышении скорости охлаждения наполнителя до 1000 К/с в его структуре образуется более тонкодифференцированная эвтектика WC-W_2C. За счет этого скорость растворения быстроохлажденного наполнителя в расплавленной связке значительно снижается. В результате в структуре зон контактного взаимодействия уменьшается относительное содержание фазы Fe_3W_3C и увеличивается – аустенитной фазы. Дополнительно скорость растворения быстроохлажденного наполнителя можно снизить за счет введения в его состав молибдена. В присутствии этого элемента содержание вольфрама в расплавленной многокомпонентной связке уменьшается по сравнению с нелегированной связкой, и фаза Fe_3W_3C практически отсутствует в структуре композиционных материалов.

После кристаллизации матрицы композиционных материалов протекают диффузионные процессы в твердом состоянии. Об их значительной интенсивности свидетельствует тот факт, что атомы железа иногда достигают центра частиц наполнителей, а карбиды W_2C и, особенно, WC, присутствующие в структуре твердого сплава вблизи зоны контактного взаимодействия, содержат достаточно большое количество железа.

Определение микромеханических характеристик композиционных материалов подтверждает вывод про растворно-диффузионный механизм формирования границ раздела между наполнителем и матрицей в исследованных композиционных материалах. Диффузия вольфрама и углерода из наполнителя в матрицу вызывает увеличение ее микротвердости возле границы раздела. Обезуглероживание наполнителя во время пропитки приводит к снижению его микротвердости в зоне контактного взаимодействия во всех исследованных композиционных материалах.

4. Выводы

1. Исследования структуры и свойств композиционных материалов с медленноохлажденым и быстроохлажденным наполнителями показывают, что сплавы-связки Fe-B-C, легированные фосфором и молибденом хорошо смачивают гранулы наполнителя.

2. В структуре исследованных композиционных материалов на границах раздела между наполнителем и матрицей образуются зоны контактного взаимодействия, структурный и фазовый состав которых объясняется их формированием по растворно-диффузионному механизму.

3. Результаты определения относительного изменения микротвердости и ширины зон контактного взаимодействия свидетельствуют о том, что интенсивность процессов контактного взаимодействия на границах раздела максимально уменьшается в случае одновременного увеличения скорости охлаждения наполнителя до 1000 К/с и введения до 0,5 % молибдена в состав сплава-связки Fe-1,8 % B -3 % C -1 % P.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Суховая, Е. В. Особенности контактного взаимодействия и технология изготовления многослойных композиционных материалов [Текст] / Е. В. Суховая, Н. В. Карпенко // Металлофизика и новейшие технологии. – 2008. – Т. 30, Спец. вып. – С. 585-594.
2. Спиридонова, И. М. Износостойкие композиционные материалы для ремонта и восстановления деталей металлургического оборудования [Текст] / И. М. Спиридонова, Е. В. Суховая, А. П. Ващенко // Сварщик. – 2005. – № 6. – С. 26-30.
3. Суховая, Е. В. Структура и свойства эвтектических сплавов-связок на железной основе для композиционных покритий [Текст] / Е. В. Суховая // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна. – 2007. – Вып. 14. – С. 236-238.

Поступила в редколлегию 14.05.2010.
Принята к печати 25.05.2010.

УДК 536.7

Н. Ю. ФІЛОНЕНКО (ДДМА, Дніпропетровськ), О. Ю. БЕРЕЗА (ДДАУ, Дніпропетровськ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДІНАМІЧНИХ ФУНКЦІЙ БОРИДУ ЗАЛІЗА

Розглядаються термодинамічні функції бориду заліза Fe_2B та легованого вуглецем бориду заліза $Fe_2(BC)$. Показано, що борид заліза Fe_2B в інтервалі температур 1023…1223 К є термодинамічно стійким.

Рассмотрены термодинамические функции борида железа Fe_2B и легированного углеродом борида железа $Fe_2(BC)$. Показано, что борид железа Fe_2B в интервале температур 1023…1223 К имеет термодинамическую устойчивость.

The thermodynamic functions of iron boride and carbon-alloyed one $Fe_2(BC)$ are considered. It is shown that iron boride Fe_2B is quite thermodynamically stable within the temperature range from 1023 to 1223 K.

Відомо [1], що домішки бору впливають на механічні властивості сплавів та сталей, тому дослідження властивостей системи стану Fe-B-C є актуальним і наразі. Бінарна система стану Fe-B вивчена достатньою мірою як експериментально [2], так і в напрямку теоретичних досліджень [3, 4]. У роботах [5, 6] автори наводять результати розрахунку енергії Гіббса фаз боридів Fe_2B і FeB системи Fe-B-C, для чого було використано модель Хіллерта і Стеффонсона [7, 8]. Автори роботи [9] вказують на можливість легування вуглецем бориду заліза Fe_2B, внаслідок чого утворюється легований борид заліза $Fe_2(BC)$. В літературі відсутні розрахункові дані про термодинамічні властивості бориду заліза $Fe_2(BC)$.

У зв'язку з цим у даній роботі за підґратковою моделлю Хіллерта и Стеффонсона було знайдено енергію Гіббса бориду заліза Fe_2B та легованого бориду $Fe_2(BC)$, а також стійкість даних фаз і ступінь розчинності компонентів у фазі.

Згідно з підґратковою моделлю Хіллерта и Стеффонсона, повну енергію Гіббса за стандартних умов можна знайти, використовуючи залежність:

$$G_m = \sum_i P_i(y)\,{}^0G_i + RT\sum_i y_i \ln y_i + \\ + \sum_i \sum_j y_i\, y_j\, L_{i,j} + G^{mag},$$

де P_i – позначає масив таких комбінацій елементів, при якому кожен з елементів розташований в іншій підгратці;

${}^0G_i$ – енергія Гіббса чистих компонентів (Дж/моль);

R – універсальна газова стала (R = = 8,31 Дж/моль· К);

T – температура (К);

$L_{i,j}$ – енергія взаємодії компонентів (Дж/моль);

G^{mag} – вклад магнітної складової в енергію (Дж/моль).

Позначимо через y_i концентрацію елементів у сплаві, де i – число компонент. Таким чином, в потрійній системі Fe-B-C кількість компонент дорівнює i = 3. Для мольних долей даного компонента в сполуці чи сплаві виконується умова:

$$\sum_{i=1}^{3} y_i = 1.$$

За підґратковою моделлю Хіллерта і Стеффонсона було розраховано енергію Гіббса бориду Fe_2B:

$$G_m = y_{\mathrm{Fe}}\,{}^0G_{\mathrm{Fe}} + y_{\mathrm{B}}\,{}^0G_{\mathrm{B}} + \\ + RT(2y_{\mathrm{Fe}} \ln y_{\mathrm{Fe}} + y_{\mathrm{B}} \ln y_{\mathrm{B}}) + y_{\mathrm{Fe}}\, y_{\mathrm{B}}\, L_{\mathrm{Fe:B}}.$$

Використовуючи дані з роботи про значення ${}^0G_{\mathrm{Fe}}$ [7], $L_{\mathrm{Fe:B}}$ [10], у даній роботі отримали наступну залежність енергії Гіббса бориду Fe_2B від температури:

$$G_m = -31000 + 3{,}37T.$$

Для знаходження хімічного потенціалу бору в бориді Fe_2B використали співвідношення:

$$\mu_{\mathrm{B}} = \frac{\partial G_m}{\partial y_{\mathrm{B}}}.$$

Хімічний потенціал бору дорівнює:

$$\mu_{\mathrm{B}} = {}^0G_{\mathrm{B}} + RT(\ln y_{\mathrm{B}} + 1) + y_{\mathrm{Fe}}\, L_{\mathrm{Fe:B}}.$$

У підсумку було отримано наступну залежність зміни значення хімічного потенціалу бору від температури:

© Філоненко Н. Ю., Береза О. Ю., 2010

$$\mu_{\mathrm{B}} = -37487 + 3{,}6T\,.$$

Для визначення величини хімічного потенціалу заліза μ_{Fe} було використане наступне співвідношення:

$$\mu_{\mathrm{Fe}} = \frac{\partial G_m}{\partial y_{\mathrm{Fe}}}.$$

Хімічний потенціал заліза було знайдено з використанням наступної залежності:

$$\mu_{\mathrm{Fe}} = {}^0G_{\mathrm{Fe}} + RT(\ln y_{\mathrm{Fe}} + 1) + y_{\mathrm{B}}\,L_{\mathrm{Fe:B}}\,.$$

Хімічний потенціал заліза дорівнює:

$$\mu_{\mathrm{Fe}} = -43427 + 2{,}94T\,.$$

Для розрахунку хімічного потенціалу бориду заліза Fe_2B було використано співвідношення:

$$\mu_{\mathrm{Fe_2B}} = 2\mu_{\mathrm{Fe}} + \mu_{\mathrm{B}}\,.$$

В результаті проведеного розрахунку хімічний потенціал бориду заліза Fe_2B дорівнює:

$$\mu_{\mathrm{Fe_2B}} = -49367 + 6{,}54T\,.$$

Оскільки борид заліза Fe_2B знаходиться в рівновазі з твердим розчином, то виконується наступна рівність:

$${}^0G_{\mathrm{Fe_2B}} - 2RT\ln a_{\mathrm{Fe}} - RT\ln a_{\mathrm{B}} = 0\,.$$

З даної рівності було знайдено добуток активностей бору та заліза в бориді заліза Fe_2B:

$$a_{\mathrm{Fe}}^2\,a_{\mathrm{B}} = \exp\left(\frac{{}^0G_{\mathrm{Fe_2B}}}{RT}\right),$$

звідки:

$$\ln\left(a_{\mathrm{Fe}}^2\,a_{\mathrm{B}}\right) = -\frac{9736{,}94}{T} + 0{,}3536T\,.$$

В даній роботі також було визначено стійкість бориду заліза Fe_2B в інтервалі температур 1023…1223 К. Для визначення стійкості фази в досліджуваному інтервалі температур було знайдено детермінант матриці:

$$D = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{Fe}}^2} & \dfrac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{Fe}}\,\partial y_{\mathrm{B}}} \\ \dfrac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{B}}\,\partial y_{\mathrm{Fe}}} & \dfrac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{B}}^2} \end{vmatrix},$$

де D – детермінант матриці. Якщо виконується умова, що $D \ge 0$, то можна стверджувати, що борид заліза Fe_2B є термодинамічно стійким в досліджуваному інтервалі температур.

Детермінант матриці дорівнює:

$$D = \frac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{Fe}}^2}\cdot\frac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{B}}^2} - \left(\frac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{Fe}}\,\partial y_{\mathrm{B}}}\right)\cdot\left(\frac{\partial^2 G_m}{\partial y_{\mathrm{B}}\,\partial y_{\mathrm{Fe}}}\right).$$

Для визначення детермінанта матриці було використано наступну залежність:

$$D = 2\cdot\frac{(RT)^2}{y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{B}}} - L_{\mathrm{Fe:B}}^2\,.$$

Детермінант матриці більше нуля – $D \ge 0$, більш того, кожен елемент головної діагоналі матриці більше нуля. Таким чином, можна зробити висновок, що борид заліза в інтервалі температур 1023…1223 К є термодинамічно стійким.

Автори [9] стверджують про можливість легування бориду заліза Fe_2B вуглецем, в результаті чого утворюється легований борид заліза $Fe_2(BC)$. В даній роботі проведено розрахунки енергії Гіббса бориду $Fe_2(BC)$, легованого вуглецем, в залежності від вмісту в ньому бору і вуглецю. Енергію Гіббса фази $Fe_2(B,C)$ розраховували за формулою:

$$\begin{aligned} G_m &= y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{B}}\,{}^0G_{\mathrm{Fe:B}} + y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{C}}\,{}^0G_{\mathrm{Fe:C}} + \\ &+ RT(2y_{\mathrm{Fe}}\ln y_{\mathrm{Fe}} + y_{\mathrm{B}}\ln y_{\mathrm{B}} + y_{\mathrm{C}}\ln y_{\mathrm{C}}) + \\ &+ y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{B}}\,L_{\mathrm{Fe:B}} + y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{C}}\,L_{\mathrm{Fe:C}} + y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{B}}\,y_{\mathrm{C}}\,L_{\mathrm{Fe:B,C}}\,. \end{aligned}$$

Для виконання обчислень використовувались дані: $L_{\mathrm{Fe:C}}$, ${}^0G_{\mathrm{Fe:C}}$, наведені в роботі [6].

В результаті розрахунку було отримано наступну залежність енергії Гіббса фази $Fe_2(BC)$ від температури:

$$G_m^{\mathrm{Fe_2(BC)}} = -35365 + 6{,}54T\,.$$

Аналіз результатів розрахунку енергії Гіббса легованого вуглецем бориду заліза $Fe_2(BC)$ та бориду заліза Fe_2B показали, що енергія Гіббса легованого бориду заліза $Fe_2(BC)$ має більше чисельне значення, ніж енергія Гіббса бориду заліза Fe_2B. Це свідчить про те, що енергетично вигіднішим є утворення бориду заліза Fe_2B, ніж легованого бориду заліза $Fe_2(BC)$.

Хімічний потенціал атомів бору в легованому бориді $Fe_2(BC)$ було знайдено при використанні наступного співвідношення:

$$\begin{aligned} \mu_{\mathrm{B}} = \frac{\partial G_m}{\partial y_{\mathrm{B}}} &= y_{\mathrm{Fe}}\,{}^0G_{\mathrm{Fe:B}} + RT(\ln y_{\mathrm{B}} + 1) + \\ &+ y_{\mathrm{Fe}}\,L_{\mathrm{Fe:B}} + y_{\mathrm{Fe}}\,y_{\mathrm{C}}\,L_{\mathrm{Fe:B,C}}\,. \end{aligned}$$

На підставі проведених розрахунків хімічного потенціалу бору в бориді заліза $Fe_2(BC)$, легованого вуглецем, було отримано наступну математичну залежність:

$$\mu_B = -42430 + 1,45T .$$

При порівнянні результатів розрахунку хімічного потенціалу в бориді заліза Fe_2B та в легованому бориді заліза $Fe_2(BC)$ стає очевидним, що хімічний потенціал бору в бориді заліза $Fe_2(BC)$ більший. Отже, при легуванні бориду заліза вуглецем відбувається збільшення хімічного потенціалу бору.

В роботі досліджували також залежність енергії Гіббса від вмісту бору в бориді заліза $Fe_2(BC)$, легованому вуглецем. На рис. 1 надано залежність енергії Гіббса бориду заліза $Fe_2(BC)$ від вмісту бору в даній фазі за результатами розрахунку.

Як видно з рис. 1, в бориді заліза Fe_2B вуглець може заміщати до 20 % ат. бору, утворюючи борид заліза $Fe_2(B_{80}C_{20})$.

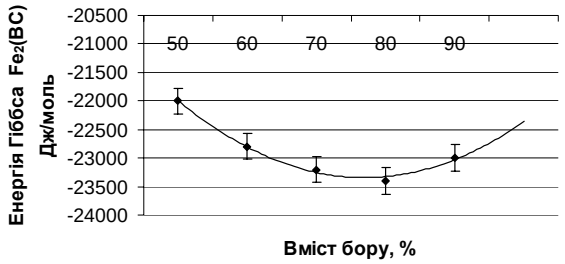


Рис. 1. Залежність енергії Гіббса від вмісту бору в бориді заліза $Fe_2(BC)$

Висновки

1. Аналіз отриманих результатів розрахунку дозволяє зробити висновок про те, що борид заліза Fe_2B є термодинамічно стійким в інтервалі температур 1023…1223 К.
2. Аналіз результатів розрахунку показав, що енергія Гіббса бориду заліза Fe_2B менша за енергію бориду заліза $Fe_2(BC)$, легованого вуглецем, що вказує на те, що більш енергетично вигідним є утворення бориду заліза Fe_2B, ніж легованого бориду заліза – $Fe_2(BC)$.
3. Аналіз результатів розрахунку хімічного потенціалу бору в бориді заліза Fe_2B і легованому бориді заліза $Fe_2(BC)$ показав, що легування бориду заліза вуглецем призводить до збільшення хімічного потенціалу бору. Крім того, результати розрахунку показали, що в бориді заліза Fe_2B вуглець може заміщати до 20 % бору, утворюючи карбоборид заліза $Fe_2(B_{80}C_{20})$.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лякишев, Н. П. Борсодержащие стали и сплавы [Текст] / Н. П. Лякишев, Ю. Л. Плинер, С. И Лаппо. – М.: Металлургия, 1986. – 191 с.
2. Halemans, B. Thermodynamic reassessment and calculation of the Fe-B phase diagram [Text] / B. Halemans, P. Wollemans, J. R. Roos // Z. Metallk. – 1994. – V. 85, № 10. – S. 676-682.
3. Borlera, V. L. Equlibri allo stato solido nel sistema ferro-boro-carbonio [Text] / V. L. Borlera, G. Pradelli // La metallurgia italiana. – 1967. – N. 11. – P. 907-916.
4. Kaneko, H. Borides and Carbides in the system Fe-B-C [Text] / Hideo Kaneko, Taiji Nishizawa, Akira Chiba // Nippere Kinzoku Gakkaishi (J. Jap. Inst. Metals). – 1966. – V. 30, No. 3. – P. 263-269.
5. Hasebe, M. Thermodynamic Analysis of Ternary Fe-C-B System [Text] / Mitsuhiro Hasebe, Taiji Nishizawa // Nippere Kinzoku Gakkaishi (J. Jap. Inst. Metals). – 1974. – V. 38, No. 1. – P. 46-54.
6. Ohtani, H. Calculation of Fe-C-B [Text] / Hiroshi Ohtani, Mitsuhiro Hasebe, Taiji Nishizawa // Ternary Phase Diagram. Transactions ISIJ. – 1988. – V. 28. – P. 1043-1050.
7. Hillert, M. The regular model for stoichiometric phases dionic melts [Text] / M. Hillert, L. Staffonsson // Acta Chemica Scand. – 1970. – V. 24, No. 10. – P. 3618-3626.
8. Sundman, B. Regular solution model for phase with several components and sublattices, suitable for computer applications [Text] / B. Sundman, J. Agren // Phys. Chem. – 1981. – V. 42, No. 4. – P. 297-301.
9. Суховая, Е. В. Закономерности формирования структуры и свойств твердых растворов на основе боридов железа [Текст] / Е. В. Суховая // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія фізика. Радіоелектроніка. Вип. 15. – 2008. – Т. 16, № 2. – С. 106-110.

Надійшла до редколегії 02.06.2010.
Прийнята до друку 21.06.2010.

УДК 656.224.003.1

И. М. АКСЁНОВ (ГЭТУТ, Киев)

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМИ РЕСУРСАМИ ПАССАЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Запропоновано нові показники оцінки роботи вагонів пасажирського парку різних власників у різних видах сполучень.

Предложены новые показатели оценки работы вагонов пассажирского парка разных собственников в разных видах сообщений.

New indices for estimation of the passenger coach stock operation of different owners in various communication kinds are offered.

В настоящее время во всех видах сообщений для оценки работы вагонов пассажирского парка в натуральном измерении используют только эксплуатационные критерии: производительность, среднесуточный пробег и оборот составов.

Данные критерии довольно важны, однако, в действующей системе статистической отчетности разложение их по типам сообщений и типам вагонов не предусмотрены. Это снижает качество и результативность сравнительного анализа эффективности использования вагонного пассажирского парка железных дорог Украины, в том числе электро- и дизельпоездов. Кроме того, в связи с реформированием отрасли будут также реформированы система управления пассажирского комплекса и система управления вагонными парками потому, что для перевозки пассажиров могут использоваться как собственные, так и арендованные и вагоны. Поэтому оценку эффективности перевозок пассажиров в дальнем и пригородном сообщении потребуется осуществлять с учетом доли собственных и арендованных вагонов. Этим объясняется актуальность дополнения существующих эксплуатационных показателей и финансово-экономическими, которые бы отражали эффективность использования вагонов разных собственников в разных видах сообщений.

Такие показатели можно рассчитывать в виде удельных доходов, прибыльности и рентабельности, т.е. съема или отдачи перевозочной продукции и дополнительных услуг в стоимостном измерении в расчете на единицу подвижного состава или единицу его мощности и на одного пассажира. Такого рода показатели близки фондоотдаче и их внедрение позволит отражать эффективность использования перевозочных ресурсов разных собственников на всей сети железных дорог Украины.

Принципиальная важность применения новых экономических показателей при оценке и анализе использования перевозочного потенциала пассажирского комплекса определяется убыточным влиянием этого фактора на его хозяйственную деятельность и в целом по отрасли. Доходы от пригородных перевозок пассажиров покрывают расходы на их выполнение всего лишь на 17…21 %. Убытки компенсируются за счет доходов от перевозки грузов и железные дороги вынуждены повышать тарифы на грузовые перевозки, что приводит к увеличению транспортной составляющей в ценах отечественной продукции и снижению ее конкурентоспособности.

Новые стоимостные показатели могут быть использованы и для других инфраструктур железнодорожного транспорта в целом. Однако необходимо, чтобы в качестве доходной базы учитывались вагонная составляющая или разница между ней и расходами на амортизацию, ремонт, техобслуживание, управление вагонным пассажирским парком в разных видах сообщений. Иначе говоря, чтобы прибыль и аналогичные показатели стали критерием экономической оценки деятельности перевозчиков пассажиров — владельцев пассажирских вагонов. Подобная методика может быть применена и для отдельных владельцев таких вагонов.

© Аксёнов И. М., 2010

Для обоснованной экономической эффективности использования перевозочных ресурсов пассажирского комплекса Укрзализныци на корпоративном уровне предлагается следующая система новых показателей оценки деятельности.

Прежде всего, следует иметь в виду доходы на один вагон (λ) рабочего пассажирского парка в разных видах сообщений и разных типов (новой конструкции, старого типа, скоростных электропоездов и др.). Этот показатель можно определить путем деления суммы доходов пассажирского комплекса Укрзализныци от пассажирских перевозок в разных видах сообщений в вагонах разных типов (D) на количество таких вагонов рабочего парка ($N_{\text{р}}$)

$$\lambda = \frac{D}{N_{\text{р}}}. \qquad (1)$$

Такие показатели будут характеризовать интенсивность использования пассажирских вагонов рабочего парка, в том числе с учетом типов вагонов и разделения их по принадлежности: общего парка пассажирских вагонов железных дорог в разных видах сообщений, собственных и арендованных единиц.

Чтобы при анализе сопоставлять показатель в динамике необходима коррекция на индекс изменения тарифов на пассажирские перевозки в разных видах сообщений. При этом надо учитывать, что правительство и государственные администрации регионов, как органы регулирования тарифов могут принимать решения о дифференцированном изменении их уровня для вагонов общего пригородного парка пассажирского комплекса Укрзализныци, собственных и арендованных.

Предложенный показатель будет характеризовать эксплуатационную работу пассажирского комплекса Укрзализныци с экономической стороны, но не отражать совокупность управленческого воздействия по всем видам деятельности. Поэтому для более точного анализа эффективности работы комплекса предлагается ввести показатели доходов и прибыли на один вагон инвентарного пассажирского парка комплекса (ИПП) в разных видах сообщений и на одного пассажира. Такие показатели позволят более объективно оценить использование наличных основных фондов рассматриваемого комплекса, причем не только занятых в эксплуатации, но и находящихся в ремонте и резерве.

Наибольшие различия в величине и динамике доходности рабочего и инвентарного парка обнаруживаются по тем типам пассажирских вагонов, которые имеют значительный разрыв между фактическим наличием и количеством эксплуатируемых. Данный фактор служит экономическим сигналом об уменьшении спроса на перевозки в конкретных типах пассажирских вагонов в разных видах сообщений. Это сигнал о необходимости срочной разработки мер по стимулированию и регулированию спроса.

Поскольку конечным показателем эффективности текущей хозяйственной деятельности пассажирского комплекса является прибыль, для ее дифференцированного определения по типам и принадлежности вагонов в разных видах сообщений необходимо рассчитывать себестоимость перевозок в каждом конкретном поезде дальнего и пригородного сообщения, а также по типам вагонов.

Данный показатель должен определяться при средних фактических значениях населенности, коэффициента порожнего пробега и других эксплуатационных показателей. В таком случае в показателе прибыль будет учитываться качественная составляющая работы.

Кроме прибыли, необходимо также определять и рентабельность по каждому типу пассажирских вагонов в разных видах сообщений (обычных, скоростных поездов, пригородных поездов, сформированных из пассажирских вагонов и др.). Важно также определять доходы, прибыль и рентабельность в зависимости от населенности по каждому типу вагона конкретного пассажирского и пригородного поезда.

Наряду с названными показателями предлагается определять доходы и прибыль в расчете на суммарную населенность вагонов конкретного поезда по следующей формуле:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_{i\text{в}} + \sum_{i=1}^{m} D_{i\text{у}} - (E + A)}{\sum_{i=1}^{n} N_i}, \qquad (2)$$

где $D_{iв}$ – доходы от перевозок пассажиров в i-том типе вагона по установленным тарифам;

$D_{iу}$ – доходы от дополнительных услуг;

E – эксплуатационные расходы на дальние, местные, международные и пригородные перевозки;

A – плата за арендованные вагоны;

N_i – рабочий парк вагонов i-го типа.

На основании структуры формулы можно сделать вывод о том, что системное решение проблемы повышения эффективности перевозочного потенциала пассажирского комплекса в разных видах сообщений заключается в совместной проработке вопросов повышения населенности вагонов каждого типа, а в пригородном сообщении и степени оплаты проезда. При этом при разработке новых пассажирских вагонов (конструировании), особенно пригородных, оптимальным критерием должна являться прибыль от перевозок, т.е. недопущения в вагон безбилетных пассажиров.

Актуальность перехода к стоимостным показателям и критериям повышается с предстоящим реформированием УЗ и выделением, по сути, в самостоятельный вид деятельности услуг в пригородном сообщении, в том числе услуг предоставления вагонного пассажирского парка в аренду. Крупные операторы пассажирского подвижного состава, ориентируясь на доходность и прибыльность своих вагонов по вагонной составляющей, смогут повысить действенность маркетинговой политики, эффективно распределяя производственные мощности по сегментам рынка пассажирских перевозок для достижения должного соответствия предложенных ресурсов платежеспособному спросу населения. Исходной базой здесь может служить сравнительный анализ эффективности работы разных владельцев перевозочных ресурсов на основе банчмаркетинга [4, 5].

Сравнительную оценку прибыльности различных операторов можно учитывать по следующей зависимости (3):

$$P = \frac{\sum \lambda_{к}\, n - (\sum \lambda_{тс}\, n_S + E_t + A)}{N_{iп} - N_{а}}, \qquad (3)$$

где $\lambda_{к}$ – котируемые операторами ставки за предоставление пассажирских вагонов конкретного типа, в пересчете на грн/вагон;

$\lambda_{тс}$ – действующая тарифная ставка за пробег ненаселенных вагонов (собственных и арендованных) конкретного типа;

E_t – текущие издержки владельцев пассажирских вагонов конкретного типа, включая амортизацию, техническое обслуживание, ремонт и расходы на управленческий аппарат, налог на имущество;

A – арендная плата, грн;

$N_{iп}$ – инвентарный парк пассажирских вагонов разного типа;

$N_{а}$ – количество арендованных вагонов;

n_S – пробег ненаселенных (порожних) пассажирских вагонов разного типа.

Как видно из формулы (3), показатель прибыльности, представляющий производительность пассажирских вагонов разного типа в стоимостном измерении, зависит от их населенности. Поэтому целесообразно включить в число функций подразделений пассажирского комплекса железных дорог, как и других операторов подвижного состава, регулирование пассажирского парка в разных видах сообщений. Вероятно, что с учетом коммерциализации оценка использования пассажирских вагонов разного типа в разных видах сообщений должны, в определенной мере, меняться и методы управления парком пассажирских вагонов разного типа. Так, если раньше критерием была минимизация вагоно-часов, то в настоящее время первостепенное значение приобретает максимизация предложенного показателя при обязательном условии установления схемы составов поездов разной категории (обычных, скоростных, сформированных из пассажирских вагонов), в разных видах сообщений с учетом покупательной способности населения. Новый показатель стимулирует повышение степени населенности, в том числе в обратном направлении и на малодеятельных участках.

Для частично выделенных пассажирских вагонов разного типа коммерческого парка показатель прибыльности можно определить по формуле

$$c = \frac{Д_{ип} + Д_{и} + Д_{жд} + Д_{а} + Д_{сб} - (E + A)}{N_i}, \quad (4)$$

где $Д_{ип}$ — доходы от перевозки пассажиров по тарифам, установленным для собственных, не принадлежащих Укрзализныце и арендованных у нее вагонов, а также за их ненаселенность (порожний пробег);

$Д_{и}$ – то же с собственными и арендованными у Укрзализныци вагонами разного типа и локомотивами;

$Д_{жд}$ – доходы от перевозок пассажиров в разных видах сообщений в вагонах разного типа инвентарного парка пассажирского комплекса Укрзализныци и общего парка частных вагонов, курсирующих в поездах;

$Д_{а}$ – доходы за аренду вагонов другими юридическими лицами;

$Д_{сб}$ – доходы по сборам за дополнительные услуги в вагонах;

E – эксплуатационные расходы пассажирского комплекса Укрзализныци в разных видах сообщений по перевозкам;

A – плата за аренду вагонов у других собственников;

N_i – рабочий парк пассажирского комплекса Укрзализныци разного типа в разных видах сообщений.

Формула (4) удовлетворяет условиям, когда частная оргструктура, осуществляющая перевозки пассажиров, будет сдавать значительную часть своего парка в аренду перевозчику – пассажирскому комплексу Укрзализныци в разных видах сообщений. У нее в этом случае должны, очевидно, сохраняться функции регулирования парка пригородных пассажирских вагонов разного типа, поскольку изменение пробега не населенных вагонов будет влиять на величину эксплуатационных расходов по типам тяговых средств и инфраструктуре.

Весьма важно, что перевозчик, будучи арендатором вагонов, будет прямо заинтересован в заказе оптимального количества вагонов у пассажирской частной оргструктуре и иных независимых операторов, т.к. ему придется исходить из объективной потребности в предстоящих объемах пассажирских перевозок в разных видах сообщений и ценовой конкуренции по арендным ставкам. Это требует более обоснованного планирования резерва подвижного состава. В целом переход и платному характеру перевозочных ресурсов должен стимулировать их лучшее использование.

Для пассажирского комплекса Укрзализныци и других перевозчиков в разных видах сообщений, кроме показателя использования вагонных парков, важное значение имеет также оценка тяговых ресурсов комплекса и уровня его эксплуатационной работы как в натуральном, так и стоимостном выражении.

Новыми показателями тут могут стать доходы и прибыль от пассажирских перевозок на один отправленный поезд в разных видах сообщений, за которыми стоят повышение уровня оплачиваемости и населенности поездов, эффективность маневровой работы с пассажирскими составами в разных видах сообщений и позволит оптимально оценивать соотношением количества отправленных поездов в разных видах сообщений. Что же касается работы электро- и дизельпоездов, то действующий показатель производительности целесообразно представить в виде отношения пас.-км к суммарной мощности пригородного инвентарного парка, что позволит производить анализ тяговых средств более сопоставимо. Смысл такого подхода усилится с увеличением численности частных пригородных поездов (вагонов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поликарпов, А. А. Статистика железнодорожного транспорта [Текст] : учебник для вузов / А. А. Поликарпов, А. А. Вовк. – М.: Маршрут, 2004.
2. Микульский, А. А. Цели и задачи исследования проблемы экономической эффективности перевозок в собственном подвижном составе [Текст] / А. А. Микульский // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 4.
3. Кэмпбел, Д. Стратегический менеджмент [Текст] : учебник / Д. Кэмпбел, Дж. Стоунс; [пер. с англ.]. – М., 2003.
4. Бабаев, С. М. Нам только еще переучиться работать в реально рыночных условиях [Текст] / С. М. Бабаев // РЖД-партнер. – 2007. – № 20.

Поступила в редколлегию 18.05.2010.
Принята к печати 27.05.2010.

УДК 658:076.5

Р. Т. БАРАН (ДП «Міжнародний аеропорт «Львів»)

ЕКОНОМІЧНІ ПІДХОДИ ДО МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ)

Реформування повітряного транспорту (ПТ) України має на меті проведення ринкової трансформації економічних і фінансових методів управління експлуатаційними підприємствами цивільної авіації, оскільки вони були сформовані ще на радянських планово-армійських принципах господарювання. Реформування ПТ проводиться в умовах відсутності вироблених оптимальних економіко-правових, інвестиційно-інноваційних і, саме головне, організаційно-фінансових комплексних єдиних методичних принципів взаємодії суб'єктів ПТ, що з'являються після розподілу, а тому автором проведено правовий аналіз економічного забезпечення цих процесів. У статті подається можливий підхід до формування парадигми фінансового механізму реформованих авіапідприємств. Викладено актуальні проблеми формування інвестиційно-інноваційного фінансово-економічного механізму (ІФЕМ) реструктуризації діючих авіапідприємств, результати наукових досліджень щодо розвитку фінансових схем підприємницької і комерційної діяльності авіакомпаній у сучасних умовах, напрямки економічної стабілізації та росту авіаперевезень, формування оптимальної економічної теорії та господарської практики реформування авіапідприємств в умовах переходу до ринку. Запропоновано можливі заходи до вирішення проблем фінансування реструктуризації ПТ шляхом створення авіаційно-транспортних консорціумів (АТК). Створення АТК дозволить підвищити економічну ефективність діяльності авіакомпаній, їх конкурентоспроможність на зовнішніх ринках транспортних послуг, реформувати фінансово-кредитну систему авіакомпаній – суб'єктів ПТ. У цьому вбачається один із можливих напрямків вирішення проблем створення національного авіаперевізника, організації його оптимальних форм та ефективних методів формування фінансових схем забезпечення заходів підвищення на якісно новий рівень конкурентних засад вітчизняних авіаперевізників, безпеки перевезень, економічної ефективності діяльності АТК.

Реформирование воздушного транспорта (ВТ) Украины имеет целью проведение рыночной трансформации экономических и финансовых методов управления эксплуатационными предприятиями гражданской авиации, которые были сформированы еще на советских планово-армейских принципах хозяйствования. Поскольку такое реформирование проводится в условиях отсутствия выработанных оптимальных экономико-правовых правил, то он неэффективен. Инвестиционные и инновационные, самое главное, организационно-финансовые комплексные единые методологические принципы взаимодействия субъектов ВТ, которые в процессе реструктуризации появляются в статусе отдельных лиц, пока отсутствуют. Автором проведен правовой анализ экономического обеспечения этих процессов. В статье приводится видение механизма формирования парадигмы финансового обеспечения реформированных авиапредприятий. Изложены актуальные проблемы формирования инвестиционно-инновационного финансового механизма (ИИФМ) реструктуризации действующих авиапредприятий, результаты научных исследований относительно развития финансовых схем предпринимательской и коммерческой деятельности авиакомпаний в современных условиях, направления поиска путей экономической стабилизации и роста авиаперевозок, формирования новой парадигмы экономической теории и хозяйственной практики реформирования авиапредприятий в условиях перехода к рынку. Предложены возможные подходы к решению проблем финансирования мероприятий по реструктуризации ВТ путем создания авиационно-транспортных консорциумов (АТК). Создание АТК позволяет повысить экономическую эффективность деятельности авиакомпаний, их конкурентоспособность на внешних рынках транспортных услуг, реформировать финансово-кредитную систему авиакомпаний – субъектов ВТ. В этом усматривается одно из возможных направлений решения проблем создания национального авиаперевозчика, организации оптимальных форм и эффективных методов формирования финансовых схем обеспечения мероприятий по повышению конкурентоспособности отечественных авиаперевозчиков, безопасности перевозок, экономической эффективности деятельности АТК.

The purpose of reforming the air transport in Ukraine is the implementation of market economic transformations in economic and financial methods of the management of civil aviation operational firms, which were still formed on the basis of Soviet plan-army management principles. The author suggests the mechanism of formation of financial supply paradigm for reformed air transport firm because these reformations are to be carried out when the elaborated optimal economic-legal, investment-innovation, and (what is the most important) organizational-financial complex unified methodical principles of the interaction of air transport (AT) subjects are absent (which becomes clear in the course of re-structuring them). Vital problems of formation of investment-innovation re-structuring

© Баран Р. Т., 2010

mechanism for functioning the air transport firms are described in this article. New results of subsequent scientific research concerning financial scheme development of enterprising and commercial activities of airlines in today's economic stabilization and growth, formation of new paradigm of economic theory and reformation of managing practice are suggested to the participants of the Conference in the course of prolonging the author's discussion; a possible approach to the solution of financing problems for their re-structuring by means of creating new aviation-transport consortia is also suggested. The aim of creating a new consortium is to improve the economic efficiency of activity of airlines, their competitiveness in internal markets of transport services as well as to reform the system of air transport subjects in Ukraine. This is one of the complex trends for solving the problems of creating national air carrier, the organization of optimal forms and methods of financial schemes formation for measures aimed at improving the competitiveness.

Вступ до теми дослідження

Економічно-організаційні новітні перетворення в транспортній галузі є загально визнаними після отримання Україною незалежності [1]. Проте ознак системної і комплексної економічної трансформації в галузі цивільної авіації (ЦА) та методів ринкового реформування поки що не вироблено. Найчастіше зовнішні зміни в організаційно-управлінських структурах називають реформами повітряно-транспортної галузі. Якщо в інших країнах Центральної та Східної Європи (КЦСЄ) авіатранспортні перетворення у зв'язку із їхнім вступом до ЄС практично завершилися, то в нашій країні ці процеси затягнулися, вони тривають на перманентній основі і кінця їм не видно. У зв'язку із поширенням системи «європеїзації» національного повітряного транспорту (ПТ) шляхом запровадження «відкритого неба», проблеми законодавчого унормування та економічного регулювання процесів реформування в транспортній галузі (ТГ) і, особливо, в ЦА у черговий раз стають на порядок денний науковцями для розгляду економістами-практиками, державними менеджерами [2].

Постановка проблеми

У ТГ здійснюються заходи реформування і це є аксіома. Вони не зовсім ефективні, і особливо у повітряно-транспортній галузі про це також відомо. На нашу думку, значну, проте ще практично недосліджену, наукову цінність має як теоретична база реформ в ЦА, так і аналіз та узагальнення практичних заходів, кроків і підходів до реалізації підвищення безпеки її функціонування, якості надання авіатранспортних послуг, конкурентоспроможності задоволеного попиту, що сформувався в останні роки.

Зв'язок проблеми дослідження з науково-практичними завданнями

Потрібно відзначити, що в Україні, не дивлячись на ознаки фінансової нестабільності та кризових явищ в економіці, поки що внаслідок вдалих дій Уряду в галузі ПТ склався відносно сталий рівень попиту. Так, за 2009 рік падіння рівнів авіа пасажирських потоків склало не більше 17 %, а, наприклад, по деяких аеропортах рівень відправлення авіапасажирів і того менше. Зокрема, по аеропорту «Львів» цей показник склав всього на всього 13 %. Отже, це вказує на те, що реформування ЦА на часі і вимагає нової уваги всіх причетних до вироблення економічної парадигми функціонування ПТ в нових економічних умовах ринкової економіки. Актуальність статті у тому, що питання безпеки і конкурентоспроможності українських авіаперевізників є основою успішної реалізації «відкритого неба» нашої країни з Європою та першим кроком вступу до її асоціативних союзів.

Постановка завдання та мета дослідження

Метою дослідження автор обрав огляд і узагальнення для цілей наукової оцінки стану заходів з реформування ПТ та на їх основі формулювання нових пропозицій щодо підвищення економічної ефективності, безпеки, якості і конкурентоспроможності суб'єктів національної ЦА шляхом запровадження вдосконаленої транспортної державної політики в Україні.

При цьому, враховуючи рамки статейного викладу результатів наукового пошуку автора в цій частині, на розсуд читачів і дослідників подаються вони у скороченій формі та без деталізованого викладення окремих розширених положень принципово нових підходів. Основну увагу тут ми звертаємо на викладення економічних механізмів, організаційно-правових оглядових параметрів заходів, що їх, на нашу думку, необхідно якнайоперативніше вжити на цьому етапі. Зрозуміло, що наголос і акценти зроблені лишень на проблемах, які потребують негайного й першочергового вирішення державними органами управління галуззю. Серед них виділимо: основи ціноутворення в ЦА, окремі питання, які недостатньо опрацьовані, а подекуди і взагалі забуті, як, наприклад, законодавче закріплення цінових паритетів у реформова-

ній підсистемі транспортної галузі, якою є ПТ, створення авіаційно-транспортних альянсів (АТА).

Короткий огляд економіко-правових публікацій за тематикою дослідження і невирішена попередниками частина загальної науково-практичної проблеми

Шкода, проте ситуація з науковим осмисленням та практичними напрацюваннями і упровадженнями по темі дослідження є критичною. Адже, хоча й у незалежній Україні реформи в ЦА і морському транспорті розпочалися негайно ще у 90-х роках минулого вже століття, проте ні економічно-правової парадигми становлення і її функціонування в нових ринкових умовах, ні хоча б єдиних для всіх суб'єктів ПТ «правил гри», як ми кажемо, не вироблено до цього часу. В окремих, відомих нам публікаціях, не багатьох, в принципі, авторів викладено лишень спроби описати чиїсь досвід, чи то Росії, чи Болгарії, чи Білорусі. Наприклад, у статтях О. М. Косарева, М. Ю. Григорак, В. М. Загорулька, О. М. Юна, Н. Є. Полянської, а молодшу генерацію авторів ми вже не беремо до уваги, оскільки там відсутній досвід, певна увага організаційно-теоретичним аспектам приділялася. Якщо ж казати про законодавчо-правове регулювання процесів забезпечення реформ ПТ, то з огляду на безпеку, економічну ефективність, якість і конкурентоспроможність національних авіаперевізників тут «поле зовсім не оране». Мова може вестися лише про фрагментарність багатьох окремих статей і то, при взятті до уваги в їх числі, підготовлених за участю та з ініціативи автора. Про власний внесок ми скажемо нижче і з конкретними посиланнями.

Актуальність теми дослідження та виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Увага автора, як практикуючого менеджера до цієї теми, перш за все спричинена прийнятими кроками до європейської транспортної інтеграції взагалі, та ЦА, зокрема. Відомо, що Українська держава крокує до «відкритого неба», яке дуже важливе для Європи. Під «відкрите небо» необхідно завершити реформи та підвищити безпеку авіаперевезень, конкурентоспроможність експлуатантів ПС. Ось чому вироблення економічної парадигми реформування ПТ, схем, методів та методології їх проведення є на часі.

Новизна результатів наукових досліджень автора у викладеному матеріалі

Україна сьогодні є однією з 10…15 країн світу, яка проектує, виробляє і експлуатує літаки, відома як авіаційна держава. У нас розробляються літаки сімейства АН-ів різного призначення. Проте всім відомо і той факт, що введення їх в експлуатацію затягується, а тому організація якісного та безпечного обслуговування авіаперевезень, надійної експлуатації та високоякісного і конкурентоспроможного «завоювання» світових ринкових сегментів є справою державної ваги. Крім того, значення проведеного дослідження зростає з огляду на те, що в ньому визначено підходи і методи, а також сформульовано висновки, які можуть бути використані і в інших, окрім ПТ, підсистемах при реформуванні транспортної інфраструктури України.

Новинність результатів досліджень полягає у викладенні теоретичних аспектів експлуатації існуючих типів ПС, зокрема серед них найекономічніших Як-42, аналіз стану регулярності, авіатранспортного виробництва, прогнозування розвитку ринку послуг на основі авіатранспортних консорціумів, запропонованої стратегії реформування і розвитку авіаційних альянсів для ефективної експлуатації повітряних авіаліній та поданні шляхів їх реалізації у практиці функціонування ПТ. Науково обґрунтовано, що подальше реформування системи авіаційного сектору перевезень потрібно розвивати як складову національної єдиної транспортної системи (ЄТС). Щоб побудувати сучасні економіко-математичні моделі відображення тенденцій розвитку підсистеми ЦА необхідно це робити на комплексних та логістичних підходах. Автор вперше звертає увагу на аналіз, адаптацію і способів застосування зарубіжного досвіду. Показує, що як експлуатаційні АТП, так і промислові підприємства, зокрема АРЗ, доцільно включити до системи повітряного транспорту у якості елементів інфраструктури щодо забезпечення організаційно-економічних заходів для формування фінансово стійкого національного авіаперевізника.

Доведеним є те, що доцільно розширити функції з організації перевезень з чисто АТП, організованих на індивідуальній підходах до всіх контрагентів на комплексній основі. З цією метою державне регулювання цінових паритетів та централізації взаєморозрахунків на основі запропонованого інвестиційно-інноваційного економічно-фінансового механізму, умови якісного і безпечного забезпечення і виконання послуг усього спектра експлуатаційного обслу-

говування авіаційної техніки. Все це у свою чергу має і повинне бути відрегульованим на законодавчій основі та методом економічної кооперації. Цей підхід дозволить забезпечити високий рівень обслуговування АТП, досягнутий у передових авіаційних країнах, значно підвищити конкурентоспроможність національних ПС шляхом корпоратизації експлуатантів ПС. Звичайно, що для реалізації цих стратегічних напрямів треба ще здійснити реформування системи ПТ на основі «єдиних правил гри» в організаційному, ресурсному, фінансовому аспектах, що й показано, на скільки це можливо, у нашій статті. Дослідження системи організації авіатранспортних експлуатаційних альянсів в умовах перехідної економіки в якості корпоративних взаємовідносин та у формі АТК проведено практично вперше.

Викладення результатів дослідження

Розвиток ринків перевезень та питоме зниження їх якості і безпеки вимагають зміцнення й активізації матеріально-технічної бази всіх без виключення суб'єктів ЄТС, а також ефективно оптимізованої на комплексній основі організації авіатранспортного виробництва [1]. Саме тому інвестиції в основний капітал підприємств транспортної галузі вимагають підвищення інвестиційно-інноваційної активності як всієї системи транспорту взагалі, так і підсистеми ПТ, зокрема. Заходи з його реформування, що їх в останні роки намагаються виробити державні органи управління, хоча й носять перманентний характер, проте не є ефективними, а тим більше вони не мають ознак комплексності [2]. Більше того, в якійсь мірі, вони навіть загальмували розвиток транспорту, як самодостатньої інституційної одиниці національної макроекономічної системи держави. Економічно-правова ефективність результатів реалізації реформування в умовах відсутності чітких «правил гри» в галузі, наприклад, ЦА поки що не характеризується позитивними тенденціями показників сталого розвитку через відсутність стимулів зростання якості надання послуг для споживачів такого енергоємного продукту, яким є сегмент ПТ [3]. Так, згідно даних Комітету Верховної Ради України з транспорту та зв'язку відсоток регулярності вильотів за останні 10-ть років зменшився, а відхилення від розкладу руху літаків (РРЛ) збільшилися більше аніж удвічі (табл. 1) [3].

На наш погляд, зниження якості і навіть безпеки послуг національного ПТ, як підсистеми транспортної галузі України, сталося через неврахування синергетичної складової їх рівнів [4]. Головна причина у тому, що реорганізація ЦА у нашій країні проведена без законодавчого закріплення результатів реформування всіх без виключення суб'єктів галузі (експлуатанти повітряних суден (ПС), аеропорти (АП), агенти з продажу авіаперевезень, служби з організації повітряного руху (СОПР), АРЗ тощо. Сталося так, що розподіл структурних одиниць колишнього Українського управління ЦА, як уламка союзного монополіста «Аерофлот» назвали реорганізацією. Її ж проведено майже на осліп, оскільки не було вироблено цінових паритетів для суб'єктів, що утворилися внаслідок реструктуризації [4].

Таблиця 1

Показники якості авіаперевезень на відправлених авіарейсах з відхиленням від розкладу руху літаків

Фінансовий рік	Кількість скарг	Затримані рейси від загальної кількості, %
2000	Немає даних	14,5
2001	Немає даних	17,0
2002	Немає даних	18,1
2003	Немає даних	19,2
2004	Немає даних	19,4
2005	1257	20,1
2006	1401	23,9
2007	2097	26,0
2008	2506	26,8
2009	3184	33,1

Через відсутність розробленого механізму моделювання собівартості послуг для всіх суб'єктів ПТ він практично деградує [5]. Хоча й було прийнято відповідний закон щодо ціноутворення, проте його підзаконні акти з часом знівелювалися шляхом відміни постанови Уряду України щодо методології моделювання собівартості робіт та послуг [6]. У результаті цих причин в експлуатантів високовартісних ПС вимиваються обігові кошти і спостерігаються часті процеси їх банкрутства, які не оминули навіть відомого у світі авіаперевізника – Державної авіакомпанії «Авіалінії України» (ДАК «Авіалінії України»). Тепер же, як бачимо і АК «Аеросвіт-Українські авіалінії» [7]. Якщо не вжити дієвих енергійних заходів правового, економічного, організаційного характеру, то цей негативізм, пов'язаний із банкрутством,

замість становлення здорової конкуренції та розвитку стосуватиметься й інших експлуатантів ПС. Сталося це з тих причин, що транспортна економічна наука не виробила дієвих економіко-правових механізмів інвестиційно-інноваційних, економічних та фінансових методів забезпечення фінансово-економічної стабільності, умов сталого розвитку національних авіаційно-транспортних підприємств (АТП), як низової ланки ЄТС, яку ми називатимемо ЦА. Безпека авіаперевезень, яка залежить від економічної ефективності та оптимізованих схем техніко-технологічної експлуатації АТП має стояти на першому місці і це для нас – авіаційних фахівців є аксіомою. Висновок актуальний ще й тому, що окрім конкурентоспроможності та демонополізації є ще вимоги з цього приводу, як ІКАО, так і ЄС [8].

Існуючі на сьогодні пропозиції щодо вирішення проблем фінансування заходів реформування ПТ, як повноправної складової макроекономічної системи держави, можна звести до певних узагальнених економічних моделей, які, на жаль, характеризуються не ринковими, а адміністративними ознаками, що про них ми вже писали раніше і тому не будемо тут повторюватися [4]. Нагадаємо тільки, що нами у науково-практичному плані виділено три підходи. Назвемо їх для розуміння так: адміністративно-затратний, адміністративно-волюнтаристичний, державно-цільовий. Всі вони, як бачимо, пов’язані з державними коштами, що не може бути правильним з огляду на національну безпеку і реальними для практичної реалізації АТП, щоб вони стали конкурентоспроможними.

Натомість автором запропоновано інший, відмінний від названих, підхід до реформування АТП, який передбачає, перш за все, формування інвестиційно-інноваційного фінансово-економічного механізму (ІІФЕМ). Назвемо такий метод економічно-цільовим. Головна його перевага у тому, що розв’язання проблем здійснення реформ у галузі ПТ має базуватися виключно на національній законодавчій системі і враховувати сучасний стан економіки ПТ та його складових частин – АТП. Реалізація ІІФЕМ для АТП передбачає залучення національних, перш за все, фінансово стійких комерційних, авіаційних та інших господарських структур до активізації комерційної роботи, як авіакомпаній (АК), агентів, АРЗ, СОПР та АП і на цій основі їх фінансування.

Кінцевою метою запровадження ІІФЕМ мало б стати об’єднання найбільш стійких у фінансово-економічному відношенні і конкурентоспроможних експлуатантів ПС, аеропортів, агентів, турфірм, банків тощо, спочатку у формі консорціуму, перетвореному згодом на український АТА [9]. На початковому етапі авіатранспортний консорціум (АТК) міг би домагатися статусу національного авіаперевізника і «підхопити прапор» фірмового стилю авіаційного обслуговування, що випав був з рук ДАК «Авіалінії України» [9].

ІІФЕМ складається з ряду простих, дешевих та протизатратних конструктивних пропозицій економічного плану. Вони можуть бути здійснені виключно за державної підтримки, а не її коштом. ІІФЕМ не є прямим повторенням відомих інноваційно-інвестиційних та фінансових схем, які були реалізовані у процесі реформування своїх систем ПТ іншими країнами, наприклад, Угорщиною, Польщею, Болгарією, Німеччиною чи Росією.

Основою для створення інвестиційно-інноваційної схеми фінансування АТК є чинне законодавство про промислово-фінансові групи (ПФГ) [10]. Оскільки дослідження ТАСІС, проведені на замовлення українського Уряду, підтвердили, що, наприклад, літаки типу Як-42 мають кращі летунсько-технічні характеристики від інших типів ПС, наявних в авіапідприємствах України, то це варто вже зараз використати, не очікуючи, коли їх ресурсний потенціал вичерпається з огляду календарних строків експлуатації [11]. Саме тому-то на час, допоки не буде налагоджено випуску українських ПС нового покоління (Ан-70, Ан-148, Ан-140) використовувати в практичній площині летунсько-технічної експлуатації саме Як-42. На цьому етапі інтенсифікація використання потенційних можливостей експлуатантів ПС цього типу вже зараз мала б стати одним з основних напрямків стратегічного розвитку ЦА. Проте, з невідомих для нас причин цього не сталося. Ситуація загострилася настільки, що національні АТП як експлуатанти ПС типу Як-42 і, зокрема, серед них АК «Донбасавіа», ДАП «Львівські авіалінії», ВАТ «Дніпроавіа» тощо просто зупинили їх комерційну та летунсько-технічну експлуатацію. Ба, навіть більше, наприклад, ДАП «Львівські авіалінії» в кінці 2009 року продали чергове ПС Як-42 (б.н. 42317) російській авіакомпанії. Це ще раз вказує на те, що попит на ПС цього типу існує і він визначається найвищою із усіх колишніх радянських типів та класів ПС економічною ефективністю експлуатації [12].

Започаткування нових форм синергії кооперативного об'єднання буде сприяти залученню у сферу ПТ, як власних засобів його учасників, так і фінансових ресурсів інших партнерів та інвесторів, включаючи іноземних. Нами пропонується мобілізувати для цієї мети та забезпечити режим пільгового субсидіювання АТК із використанням загальнодержавного позабюджетного інноваційного чи іншого фондів [13]. Наприклад, це могли б бути кошти Державного спеціалізованого фонду фінансування загальнодержавних витрат на авіаційну діяльність (Спецфонд) [13]. Реалізація цієї, відмінної від схем фінансування реформ на ПТ у сучасних умовах, поданих у вигляді залучення бюджетних коштів, є більш прозорою й гнучкою з огляду на повільну наповненість і проблематичність механізмів фінансової стабілізації Укртранслізингу [14]. Спецфонд на сьогодні функціонує й у комплексі з іншими заходами мобілізації фінансових ресурсів може становити основу ФПГ АТК. Саме у цьому полягала наукова новинність раніше запропонованого інвестиційно-інноваційного механізму фінансування заходів з формування конкурентоспроможного національного авіаперевізника у формі АТК [9].

Рішенням Уряду, тобто нормативно, АТК міг би бути наділений правами самостійної юридичної особи. До його складу увійшли б найбільш стійкі у фінансовому відношенні функціонуючі на сьогодні експлуатанти ПС. АТП як суб'єкти міжнародних авіатранспортних організацій, наприклад, таких як Міжнародна асоціація цивільної авіації (ІАТА), не позбавляються статусу юридичних осіб, пов'язаних з цим станом активів та пасивів. З іншого боку, учасники АТК, залишаючись юридичними особами, перебували б у стані експлуатантів ПС консорціуму, а також були б самостійними АК зі статусом перевізників на початково-кінцевих його ж таки повітряних лініях (ПЛ). Тобто їх можна вважати контрагентами на внутрішньому ринковому сегменті авіатранспортних робіт. Окрім АТП – учасників АТК, до його складу можуть входити також авіабудівні ФПГ, інвестиційні організації, банківські установи, агенти, спеціалізовані туристичні та інші організації, підвідомчі як Мінтрансу, так і іншим міністерствам та відомствам. На початкових стадіях свого функціонування з метою внутрішнього корпоративного управління фінансами і вироблення внутрішніх кредитних механізмів АТК може створити власний цільовий фонд чи клірингову палату, що складатиметься з державних запозичень, внесків його учасників та амортизаційних відрахувань АТП. Цій фінансовій структурі, при забезпеченні держконтролю за цільовим використанням його засобів, могли б бути надані також права, необхідні для виконання клірингових операцій та взаєморозрахунків авіаперевізників, пільгового кредитування власних проектів технічного переоснащення структури парку ПС. Зокрема, у такий спосіб можливо передбачити фінансування виготовлення національних принципово нових типів ПС, про які ми вже вище згадували, підвищення заходів з авіаційної безпеки й конкурентоспроможності, технологій енергозбереження на ПТ і екологічних проектів у галузі ЦА взагалі та консорціуму, зокрема.

Нам можуть заперечити іноземними інвестиціями, проте автор може довести і навести приклади, коли усі дотеперішні фінансові запозичення від, так званих, іноземних інвесторів вкладалися виключно у заходи щодо захоплення ними ж вітчизняних ринків авіатранспортних послуг, а тому не дозволили стабілізувати фінансові потоки і запровадити основи комерційної логістики наших АТП. Ось зовсім недавно урядовою постановою намагалися залучити венчурні капітали, а вийшло як завжди – прийшли фінансові посередники і справа, на час, коли писалася ця стаття, так і не була реалізована [15]. Такі інноваційні підходи не сприяють успіху інноваційних програм як для АП, так і для міжрегіональних авіаперевізників. Вони тим більше не стимулюватимуть економічного зростання АТП. АРЗ, АП, агенти, СОПР, авіаметеослужби – усе це складові ланки авіатранспортної логістики (АТЛ) і одночасно контрагенти АК і не є їх конкурентами. У такий спосіб, коли йде об'єднання, визначається їхня участь у фінансуванні фонду АТК.

Перед тим, як продовжити опис ІІФЕМ, для цілей цієї статті дозволимо для читачів викласти своє власне теоретичне коротеньке наукове обґрунтування його підґрунтя. Автор вважає, що коли для іноземних інвесторів мова йде про АТП, то вони їх потенційно й об'єктивно сприймають у якості конкурентів. Саме тому стає зрозуміло, чому цей напрямок не цікавить венчурних капіталістів, або попросту інвесторів. Профспілки за кордоном кардинальним чином відрізняються від наших доморощених тим, що є тільки фаховими. Вони-то і слідкують за тим, щоб інвестиції закордонних інвесторів не сприяли зменшенню робочих місць в країні, з якої походить інвестор. Експлуатанти МПЛ – це на їх думку повинні бути не українські, а їхні, оскільки це робочі місця. Такого

«ласого» сегменту ринку авіаперевезень вони не дозволяють віддавати нікому.

Інша справа з АП, оскільки вони відносяться до суб'єктів ПТ, які жодним чином не носять негативного впливу на їхній підхід із забезпеченням робочими місцями. Навпаки, коли у них є початковий АП і їхня МПЛ, то вони якраз і вимагають наявності кінцевого АП, який має бути розташований в Україні. Отже в такому випадку є всі підстави для інвестицій, бо тут вступає в силу закон попиту і пропозиції, коли для транспорту саме пропозиція формує попит. І вже він сприяє розвитку робочих місць в обох державах, які пов'язані за допомогою МПЛ.

Принагідно ще варто тут зазначити і таку нашу посилку, яку можемо навіть вважати синтезованою частиною нового економічного закону. Автором обґрунтовано визначення «економічної архітектоніки», яка характеризується пришвидшеним графіком обігу капіталу [16]. У цьому зв'язку можемо стверджувати, що капітал в ЦА обертається якнайшвидше із усіх галузей матеріального виробництва. Постараємося тут коротенько це довести, оскільки така тема іншої статті. І як це не дивно, обіг капіталу для авіаперевізників навіть швидший за торгівлю, як би це комусь не видалося дивним. Враховуючи, що останнім часом вся торгівля просякнута кредитними схемами, то класична схема: Г-Т-Г на сьогодні вже не спрацьовує у торгівлі так, як це було за життя Маркса. В ЦА вона повністю забезпечується, наприклад, таким чином, коли куплений за гроші рейс для авіаперевезення товарів із Індії до України має гарантовану економічно-фінансову вигоду. Тобто гроші за рейс із Львова до Делі в сумі $90 тис. повертаються за 36 годин, коли ПС злітає за вантажем і повернеться для розвантаження і вручення товару вантажоотримувачу. На наш погляд, у торгівлі відома модель може бути зведена до такої: Г{t}-Т-Г. Проте це також тема іншої статті.

Передумовою запропонованому нами варіанту є формування фінансів АТК як загальнодержавного експлуатанта МПЛ, бо тільки тут можливо освоїти ринкові сегменти та бути конкурентоспроможним. Для цього є законодавчо-економічні важелі впливу із зовнішнього, по відношенню до транспорту, середовища, коли надзвичайно потужні, фінансово стійкі та конкурентоспроможні авіаперевізники світу намагаються освоїти український сегмент авіатранспортного забезпечення. Для прикладу можемо вже зараз констатувати, що американська АК «Дельта», яка рветься до України, має річний бюджет, що значно перевищує бюджетні показники нашої держави. І з тим треба миритися та враховувати в часи, коли йде реформування національної системи ПТ. Проте можемо констатувати, що поки що жоден адміністративний документ, виданий авіаційними владами нашої держави, а їх за роки незалежності було ой як багато, не враховував факторів «фінансової міцності», «фінансової стійкості», «техніко-технологічного забезпечення» міжнародних авіаперевізників.

При такому вирішенні схеми фінансування розвитку ПТ, засоби фонду АТК могли б відтворюватися і навіть зростати завдяки їхньому пільговому й сприятливому підтриманню учасників АТК, як юридичних осіб і авіаперевізників, що задіяні у міжнародній авіатранспортній кооперації на зовнішніх ринкових сегментах, як ми її називаємо, хабової частини авіаперевезень, так і внутрішніх початково-кінцевих доставлянь.

Такий підхід держави до організації авіатранспортної «комерції» своїх АТП повинен бути обов'язково підкріплений прийняттям відповідного закону щодо кредитної політики в галузі транспорту.

Фонд, який діятиме при АТК, матиме, як учасник, можливість приймати безпосередні рішення про доцільність надання кредиту для того чи іншого проекту, пов'язаного з його діяльністю. Самостійно визначатиме величину пільгового запозичення тощо. Усі заходи організації АТК мають на меті і покликані реалізовувати на практиці державну політику щодо виведення ПТ із стану стагнації, підвищення безпеки авіатранспортного обслуговування, якості послуг, створення конкурентоспроможного національного авіаперевізника, розвитку авіаперевезень по МВЛ, стандартизації взаєморозрахунків, підвищення економічної ефективності авіатранспортної діяльності. Її вирішення, можливе, наприклад, шляхом організації системи взаєморозрахунків і резервування місць у ПС Billing & Setlement Plan (BSP). У такому разі мобілізовані АТК кошти можуть також використовуватися для залучення у сферу авіатранспортних проектів на пільгових умовах, а також грошові потоки від третіх осіб та населення. Запропонована фінансова схема дозволяє зробити суб'єктом надання кредиту, наприклад, для емісії облігацій чи інших цінних паперів, банк-учасник, ФПГ чи ЦВ системи BSP. У будь-якому випадку, право приймати рішення щодо фінансування конкретного проекту й умови внутрішнього кредитування буде нале-

жати АТК, а при трансформації його в альянс – його керівним структурам з усіма позитивними наслідками, що випливають звідси. Виникає можливість проведення, як Мінтрансом, так і правліннями консорціуму чи альянсу, погодженої з іншими міністерствами (відомствами) і регіонами координаційної узгодженої політики розвитку транспортної мережі. Отже, державне регулювання авіатранспортної діяльності в даному разі набуває прозорих форм, засадничих законодавчих і нормативних документів, враховуватиме національні пріоритети регіональної політики, впливатиме на довершений хід ринкових перетворень на ПТ та реформування експлуатантів високовартісних ПС. Результатом реалізації ІІФЕМ на практиці стане виконання урядової концепції розвитку ЦА до 2020 року [17].

Недолік усіх інших схем фінансування завдань, що стоять перед ПТ, на погляд автора полягає у тому, що вони не передбачають самонаповнення й збільшення грошових ресурсів господарюючих суб'єктів шляхом їх самозароблення. Фонди, які дотепер формувалися у галузі ПТ, не були ефективними, тому що не мали у своїй основі дієвого фінансового механізму регулювання. Вони вимагали постійного підживлення з бюджету, податкових відрахувань або залучення державних фінансів [18]. У запропонованому варіанті ІІФЕМ, створення промислово-фінансового об'єднання у формі консорціуму (альянсу), окрім короткотермінових звільнень від стягнень до фондів та Спецфонду, що спрямовані на пряме фінансування його проектів у галузі ЦА, ніяких інших податкових пільг, встановлених чинним законодавством, не передбачається. Механізм визначення обмежень від вартості стягнень з експлуатантів до Спецфонду побудованій на запровадженні, окрім як з АК, таких стягнень також і з інших суб'єктів ПТ, які обслуговують польоти АК. Наприклад, СОПР чи АРЗ та агентів, як таких, що випали з поля зору розробників положення про Спецфонд [14].

При згоді сторін на надання кредитної позики, фонд може забезпечити пільговий режим кредитування програм реформування АТП декількома шляхами. Замість компенсації банку втрат від зниження ставки, фонд може надати субсидії безпосередньо позичальникові. При цьому субсидії можуть направлятися для часткового чи повного обслуговування кредиту на відшкодування визначеної частини основної суми, чи позички на те й інше одночасно (у залежності від ефективності запропонованого заходу чи проекту, що фінансується). ІІФЕМ передбачатиме, що пільги для позичальників можуть полягати у пролонгації періоду погашення позички чи відтермінування першого платежу (під зобов'язання консорціуму). Режим пільгового кредитування, запропонований самим АТК для того чи іншого свого учасника, на нашу думку, може бути більш гнучким. Наприклад, величина наданих субсидій може бути обумовлена виконанням особливих вимог фонду щодо безпеки авіаперевезень, розвитку нових форм комерційного обслуговування, авіаційного сервісу на борту ПС та підвищення їх економічної ефективності. Виконання ж авіаперевізником цих двох умов – це шлях до підвищення конкурентоспроможності українського ПТ на зовнішніх ринках, запровадження фінансового менеджменту, форм і методів комерційної логістики [18].

Для забезпечення дієвого економічного механізму становлення і ефективного функціонування АТК, зі сторони Кабінету Міністрів України потрібно негайно повернутися до забезпечення реалізації цінового паритету на транспорті. З цією метою пропонується забезпечити нормативно-правовими актами законодавство про ціноутворення [14].

На наше глибоке переконання, більш «мертвого», так би мовити, аніж Закон України «Про ціни і ціноутворення» годі знайти, оскільки не існує жодного нормативного документа про його застосування. Немає, і це саме головне, підзаконного акта щодо методів і моделей калькулювання собівартості робіт та послуг, як основи ціноутворення. Саме через цей невизначений стан, коли без реформи в ціноутворенні і не дозволяє досягти ефективного реформування ПТ.

Вирішення вказаних проблем та підвищення економічної ефективності функціонування суб'єктів ПТ законом має бути покладене в основу процесів реструктуризації. На противагу сталій міжнародній практиці щодо реструктуризації і навіть у порушення вимог чинного національного законодавства, розподіл АТП проводиться без вироблених нормативних актів та без врахування соціально-економічної специфіки ЦА, як галузі макроекономіки. Як ми вже зазначали вище, цей факт вже призвів до банкрутства багатьох експлуатантів ПС. Кількість банкрутств буде неухильно зростати, оскільки на відміну від світового ПТ, де вже давно зрозуміли, що на авіатранспортних ринках утримуються лише мобілізовані, фінансово стійкі й економічно обґрунтовані об'єднання (консорціуми) або авіаційні групи (альянси). Цей чин-

ник розвитку авіатранспортного ринку як фінансовий інструмент сталого зростання поки що не став предметом вивчення й адаптації для застосування до національної системи ЦА. Саме тому нами на противагу механічному розподілу АТП за виробничо-технічним принципом пропонується механізм інноваційно-інвестиційного фінансово-економічного забезпечення реструктуризації авіапідприємств шляхом виділення з їх складу та передачі в оперативне управління АТК виключно летунських або інших, визначених учасниками АТК комплексів на договірно-правовій основі. Такий ІІФЕМ не заперечує принципів фінансового менеджменту й реструктуризації ПТ України, оскільки має на меті проведення ринкової трансформації економічних методів управління ЦА.

Висновки

До сьогодні реформування АТП також проводиться в умовах відсутності вироблених оптимальних економіко-правових і організаційно-фінансових комплексних єдиних методологічних засадничих принципів взаємодії суб'єктів ПТ, що утворюються у процесі його реструктуризації. Немає паритетних умов, єдиного правового поля та економічних ринкових універсальних методів ціноутворення для всіх без виключення суб'єктів ПТ, що створені в останні роки у результаті розподілу цілісних майнових комплексів [2]. Наприклад, при розподілі нібито мають бути утворені АК, проте варто замислитися, що це за господарський суб'єкт ПТ? У якому законі він передбачений як структура ЦА України? Яка його правова природа? Ці запитання поки що залишаються риторичними, оскільки у чинному Повітряному кодексі України відповіді на них не знайти.

Саме тому потрібно вносити до його положень певні законодавчі поправки. Для продовження дискусії увазі читачів, а можливо й фахівців-науковців пропонуються результати подальших наукових досліджень процесів щодо розвитку фінансових схем підприємницької й комерційної діяльності АТП у сучасних умовах, напрямків формування парадигми економічної теорії, засадничих основ комерційної діяльності у галузі ПТ. З метою формування економічної теорії і господарської практики в умовах переходу до ринку нами запропонований можливий підхід до вирішення проблем фінансування заходів реформування ПТ та реструктуризації АТП шляхом утворення АТК. Створений у формі консорціуму національний авіаперевізник, у свою чергу, зможе сприяти підвищенню економічної ефективності діяльності АТП та зміцненню конкурентоспроможності національного авіаперевізника, оскільки реформування фінансово-кредитної системи й стимулювання економічного зростання вимагає активізації фінансових засобів, що закладені державою у ЦА. З іншої сторони, можна очікувати засобів стимулювання економічного зростання не тільки АК, а й інших суб'єктів ПТ, зокрема, АП. Проте – це вже тема іншої статті та результати подальших науково-практичних досліджень. Вона якраз на етапі нашого дослідження. Головним висновком з цієї статті є те, що у такий «недорогий» для держави спосіб можна оперативно без особливих втрат часу підвищити якість та безпеку авіаперевезень, що у свою чергу дозволить зміцнити конкурентоспроможність національних АТП.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Про транспорт: Закон України від 10.11.94 р. № 232/94 зі змінами та доповненнями. Стаття 21; Баран, Р. Т. Теоретичні підходи і практичні засоби вирішення проблем економічної природи цінового паритету залізничного транспорту України в умовах реструктуризації [Текст] / Р. Т. Баран, Л. М. Баран // Проблеми економіки і управління на залізн. трансп. Матеріали 2-ої МНПК. – К.: КУЕТТ, 2007. – т. 1. – С. 74-75.
2. Коноваленко, Я. Неповторне почуття висоти [Текст] / Я. Коноваленко // «МК» в Україні. – № 6. – 3-9 лют. 2010. – С. 16; Про схему управління підприємствами цивільної авіації України [Текст] : Наказ Мінтрансу від 20 вересня 1993 р. № 278; Про передачу майна до системи Комітету по використанню повітряного простору України [Текст] : Наказ Мінтрансзв'язку від 06.02.1995 р. № 56; Про заходи щодо розвитку аеропортового комплексу «Київ» (Жуляни–Васильків) [Текст] : Пост. Кабінету Міністрів України від 17.09.1993 р. № 746; Про затвердження графіку проведення реструктуризації підприємств авіаційного транспорту [Текст] : Наказ Мін-ва трансп. і Фонду держ. майна України від 20.05.99 р. № 268/917; Щодо створення державної холдингової компанії [Текст] : Наказ Мін-ва трансп. України від 19.12.2003 р. № 988.
3. Гаврыш, О. Авиация невысокого полета [Электрон. ресурс] / О. Гаврыш, А. Леденев // Коммерсантъ-Украина. – Режим доступа: finance.com.ua
4. Баран, Р. Правові методи інвестиційно-інноваційних схем фінансування авіапідприємств повітряного транспорту України та вирішення проблем їх застосування [Електрон. ресурс] / Р. Баран, Л. Баран. – Режим доступу: http://vesna.org.ua/txt/baranr/law.doc; Баран, Р. Про першочергові заходи з унормування на законодавчому рівні організації, використання та

оплати повітряного простору України [Текст] / Р. Баран // Економічне зростання України: стратегічні напрями і тактичні заходи: Матеріали V Всеукр. НПК, м. Одеса, 29-31.05.2007 р. – К.: ДП «Вид. дім «Персонал», 2008. – С. 500.

5. Про затвердження Концепції реформування транспортного сектору економіки [Текст] : Пост. Кабміну від 09.11.2000 р. № 1684; Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27.09.00 р. «Про стан авіаційного транспорту та авіаційної промисловості України» [Текст] : Указ Президента України від 18.10.00 р. № 1143/00; Про додаткові заходи на виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 вересня 2000 року [Текст] : Пост. Кабінету Міністрів України від 27.07.01 р. № 919.
6. Про ціни та ціноутворення [Текст] : Закон України від 03.12.1990 р. № 507-XII; Про затвердження Типового положення з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості [Текст] : Пост. Кабміну від 26.04.1996 р. № 743 (з чинністю додатків № 743а).
7. Афанас'єв, М. «Аеросвіт»: повернення надій [Електрон. ресурс] / М. Афанас'єв. – Режим доступу: http://www.wing.com.ua/content/view/6665/52
8. Регламент (ЄС) № 889/2002 Європейського Парламенту та Ради від 13 травня 2002 року, що вносить зміни у Регламент Ради (ЄС) № 2027/97 про відповідальність авіаперевізників у разі нещасних випадків/аварій [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: //http://209.85.135.132/search?q=cache:hq7TrhMuXXEJ:legal-base.in.ua/data/upload/catalog/main/ua/106/regulation_889_2002_ua.doc+%D0%A1%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B3%D0%B8+%D0%BD%D0%B0+%D0%B0%D0%B2%D1%96%D0%B0%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D1%96%D0%B2&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=ua
9. Баран, Р. Аналіз методів підходу до традиційних схем фінансування авіатранспортного консорціуму в умовах державної підтримки розвитку авіапідприємництва в Україні [Текст] / Р. Баран // Тези доп. на міжн. наук.-практ. конф. «Фінансові механізми активізації підприємництва в Україні» (1-3 лист. 2001 р., Львів, ЛДФЕІ). – С. 8; Григорак, М. Тенденції розвитку і логістичної інтеграції авіакомпаній України [Текст] / М. Григорак, О. Косарев // Економіка України. – 2003. – № 1. – С. 4-12; Загорулько, В. Дослідження реформування і розвитку інфраструктури авіатранспорту [Текст] / В. Загорулько // Економіка України. – 2004. – № 1. – С. 93.
10. Про промислово-фінансові групи в Україні [Текст] : Закон України від 21.11.95р. № 437/95-ВР зі змінами та доповненнями.
11. Технічне сприяння розвитку та регулювання цивільної авіації [Текст] : заключний звіт Tourism & Transport Consult International з Проекту № TN-UK 9307 TACIS // Український авторизований переклад in association with Air Consult International Civil Aviation Authority – United Kingdom A. A. G. PEGASUS B. V – Holland. – К.: Держ. департамент авіаційного трансп. України (Укравіатранс) № 1.11-3498 від 20.12.96. – С. 14, 128.
12. Ященко, Л. А. Технико-экономические изыскания воздушных сообщений [Текст] / Л. А. Ященко. – М.: Транспорт, 1983. – С. 5.
13. Про внесення змін і доповнень до постанови Кабінету Міністрів України від 28.09.93 р. № 819 [Текст] : Пост. Кабінету Міністрів України від 16.06.98 р. № 889.
14. Про утворення лізингової компанії «Укртранслізинг» [Текст] : Пост. Кабінету Міністрів України від 08.06.98 р. № 840 із змінами, внесеними Пост. Кабінету Міністрів України від 11.07.01 р. № 788.
15. Деякі питання залучення інвестицій для будівництва нового аеровокзалу Державного підприємства «Міжнародний аеропорт «Львів» [Текст] : Пост. Кабміну від 22 липня 2009 р. № 763; Про затвердження «Порядку залучення інвесторів для будівництва та/або реконструкції об'єктів у рамках підготовки та проведення в Україні фінальної частини чемпіонату Європи 2012 року з футболу» [Текст] : Пост. Кабінету Міністрів України від 08.06.98 р. № 840 із змінами, внесеними Пост. Кабінету Міністрів України від 06.08.2008 р. № 711.
16. Баран, Р. Т. Логістично-економічні методи в підходах до управління на залізничному транспорті [Текст] / Р. Т. Баран, Л. М. Баран // Матеріали Першої наук.-практ. конф. «Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті» (Сімферополь, АРК, 08-09.10.2008 р.). – К.: Укрзалізниця, 2008. – С. 8-10.
17. Про схвалення Концепції Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2020 р. [Текст] : Розп. Кабміну від 05.03.2008 р. № 506-р.
18. Сироватка, С. Р-р-революція! Міністр транспорту налякав авіаринок України [Текст] / С. Сироватка // День. – 27 вер. 2001 р. – № 174; Гончаров, С. Вимушене об'єднання [Текст] / С. Гончаров // Українська Інвестиційна Газета. – 30 жовт. 2001 р. – № 144. – С. 13.
19. Баран, Р. Т. Соціально-економічні аспекти проблемності становлення авіатранспортної логістики в Україні [Текст] / Р. Т. Баран // Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Економічні проблеми розвитку виробництва регіону / Щорічник наук. пр. НАН України. – Вип. XXXI. – Львів: Ін-т регіональних досліджень, 2001. – С. 344-352.

Надійшла до редколегії 10.02.2010.
Прийнята до друку 16.02.2010.

УДК 656.224.022.816

Ю. С. БАРАШ, Н. О. ГАЙДУК, Х. В. ДРЕБОТ (ДІІТ)

ПРОБЛЕМИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖДЕРЖАВНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Висвітлено основні аспекти міждержавних пасажирських перевезень в Україні. Здійснено аналіз наявної ситуації в даних перевезеннях. Розглянуто деякі варіанти вирішення проблем пасажирських перевезень у міждержавному сполученні.

Отражены основные аспекты межгосударственных пассажирских перевозок в Украине. Осуществлен анализ имеющейся ситуации в данных перевозках. Рассмотрены некоторые варианты решения проблем пассажирских перевозок в межгосударственном сообщении.

The basic aspects of international passenger transportations in Ukraine are represented. The analysis of present situation in these transportations is carried out. Some variants of solving the problems of passenger transportations in an international communication are considered.

Вступ

Однією з основних цілей залізничного транспорту є підвищення ефективності пасажирських перевезень. Але цю проблему кожна держава вирішує по-різному. В Україні пасажирські перевезення в дальньому сполученні в основному збиткові, винятком є лише міждержавні перевезення та окремі поїзди внутрішнього сполучення. Для цього всі країни підвищують якість, комфортність та швидкість пасажирських перевезень. Підвищувати тарифи на пасажирські перевезення у внутрішньому сполученні можна тільки з дозволу Уряду, оскільки ці перевезення є соціально значущими. Тому кожна країна намагається виконувати більший обсяг міжнародних пасажирських перевезень.

Але в Україні вирішення цієї проблеми дуже ускладнено, оскільки новий рухомий склад для перевезення пасажирів у міжнародному сполученні закуповується лише за власні кошти в дуже малих обсягах (рис. 1), Уряд не виділяє інвестицій для придбання нових пасажирських вагонів, а приватних пасажирських компаній практично не існує. У той же час кількість якісних вагонів, які можуть курсувати в міжнародному сполученні, катастрофічно зменшується (рис. 2).

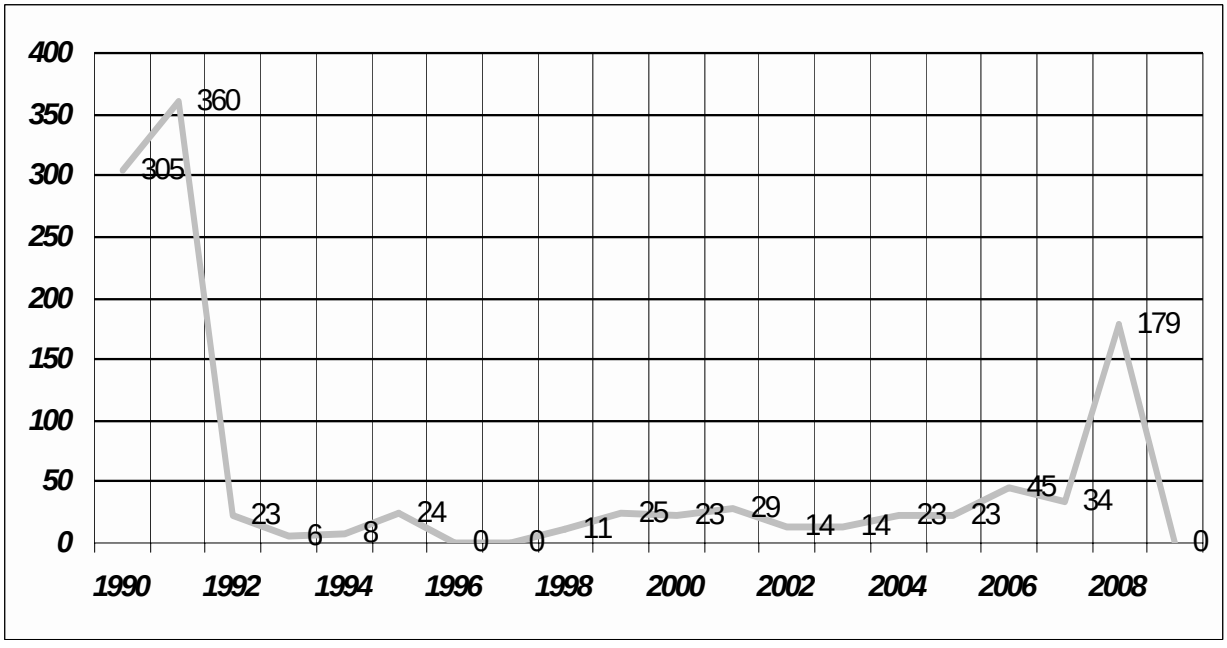


Рис. 1. Динаміка закупівлі нових пасажирських вагонів Укрзалізницею

© Бараш Ю. С., Гайдук Н. О., Дребот Х. В., 2010



Рис. 2. Розподіл пасажирських вагонів віком до 20 років за окремими сполученнями для розкладу руху 2010-2011 років

З огляду на це Росія пропонує передати їй частину пасажирських маршрутів. У свою чергу, Німеччину турбує незадовільний стан українських пасажирських вагонів, на які припадає найбільший відсоток браку. Вона має намір заборонити курсування такого рухомого складу на своїх залізницях. Інші країни Європи також бажають витіснити національних українських перевізників з міжнародного транспортного ринку.

Постановка задачі

Перед Укрзалізницею постала дилема: або закупляти рухомий склад за кошти держави, оскільки власних коштів не вистачає, або передати частину пасажирських перевезень у міждержавному сполученні Росії. Але ні перше ні друге не вирішує проблеми, оскільки придбання необхідної кількості нових вагонів за кошти держави є дуже проблематичним, а передача частини міжнародних маршрутів Росії призведе до витіснення національного перевізника з транспортного ринку України і втрати частини найбільш прибуткових транспортних послуг.

Можна запропонувати кілька варіантів збереження за Україною пасажирських перевезень у міжнародному сполученні:

- Передати частину міжнародних маршрутів приватним компаніям-операторам, але це малоймовірно, оскільки пасажирський вагон коштує від 8 500 до 9 500 тис. грн, і в той же час небезпечно, бо їх можуть перекупити компанії-оператори інших країн.
- Створити нову акціонерну компанію для перевезення пасажирів у міжнародному сполученні, 100 % акцій якої буде перебувати у державній власності. Це дозволить спрямувати значну частину прибутку від перевезень на закупівлю нових вагонів.
- Передати частину пасажирських збиткових перевезень у міждержавному сполученні Росії, а вагони зі строком служби до 28 років з цих поїздів перевести на інші напрямки. Проте на сьогоднішній день відсутня методика визначення рентабельності окремого пасажирського вагона.

Основне завдання на сьогоднішній день – це збереження за Укрзалізницею транспортного ринку пасажирських перевезень у міжнародному сполученні в умовах дефіциту рухомого складу зі строком служби до 28 років та відсутності державних інвестицій на їх закупівлю.

Результати

Аналіз рентабельності пасажирських поїздів у міждержавному сполученні, сформованих окремими залізницями, показує, що не всі маршрути є збитковими. Наприклад, міжнародні поїзди формування Придніпровської залізниці, які курсують цілорічно та влітку, усі прибуткові. Те саме можна сказати про поїзди формування Південно-Західної залізниці, де винятком є лише поїзд Київ – Астана, який має низьку населеність.

Дослідження показали, що прибутковими є поїзди, які курсують більшою частиною на теренах Росії, оскільки тарифи в міжнародному сполученні вищі, ніж у внутрішньому. Як приклад можна назвати поїзди міжнародного сполучення формування Одеської залізниці. Якщо

порівняти поїзд Миколаїв – Москва з поїздом Дніпропетровськ – Москва, то перший є збитковим, а другий прибутковим, оскільки перший більше виконує перевезення пасажирів у внутрішньому сполученні за низькими тарифами.

У той же час деякі поїзди міждержавного сполучення формування Південної залізниці, що курсують в основному на теренах Росії, не всі є прибутковими.

Враховуючи значний дефіцит вагонів зі строком служби до 20 років, необхідно в першу чергу переглянути курсування збиткових поїздів. Для покращення ситуації можна запропонувати кілька варіантів:

1. Розглянути можливість відмови від збиткових поїздів і таким чином зекономити пасажирські вагони та направити їх на більш прибуткові рейси.

2. Переглянути використання вагонів віком до 20 років у внутрішньому сполученні з метою передачі їх для міждержавних рейсів.

3. Для раціонального використання прибутків від міждержавних та міжнародних перевезень необхідно виділити ці перевезення в окрему операторську компанію, 100 відсотків акцій якої буде належати державі.

Розглянемо окремо рентабельність поїздів різних залізниць України [1].

Донецька залізниця має вісім поїздів міждержавного сполучення (табл. 1). Поїзди московського напрямку є прибутковими та високорентабельними. Також прибутковими є поїзди Донецьк – Ростов (619/620) та Маріуполь – Санкт-Петербург (348/347), проте рентабельність їх менша. Це пояснюється тим, що відстань курсування цих поїздів по РЖД, де діє міждержавний тариф, значно більша, ніж по Укрзалізниці, при цьому населеність поїзда перевищує 70 відсотків.

Таблиця 1

Розрахунок рентабельності поїздів формування Донецької залізниці у міждержавному сполученні за 2009 рік

№ поїзда	Напрямок	Кількість вагонів			Населеність, %	Кількість рейсів	Відстань по РЖД, км	Відстань по УЗ, км	Витрати, тис. грн	Доходи, тис. грн	Прибуток (збиток), тис. грн	Рентабельність (збитковість), %
		СВ	Плацкарт	Купе								
9/10	Донецьк – Москва	1	10	5	71	364	737	370	64382,9	198128,2	133745,3	207,7
113/114	Донецьк – Москва	1	10	3	66	180	737	385	30203,7	76118,5	45914,7	152,0
337/338	Донецьк – Москва	-	9	5	76	365	786	371	74478,5	141791,9	67313,4	90,4
619/620	Донецьк – Ростов	-	4	1	34	166	140	96	3556,9	4126,3	569,3	16
11/12	Луганськ – Москва	-	10	4	79	365	784	220	55529,1	145671	90141,9	162,3
77/78	Маріуполь – Москва	1	10	5	78	365	737	575	83477,0	206578,6	123101,6	147,5
348/347	Маріуполь – Санкт-Петербург	-	7	5	76	180	1093	920	57789,0	100636,3	42847,3	74,1
385/386	Маріуполь – Воронеж	-	4	2	50	180	287	514	21318,8	15393,9	-5924,9	-27,8

З усіх поїздів міждержавного сполучення, що формує Донецька залізниця, лише один є збитковим – Маріуполь–Воронеж (385/386). Його збитковість пояснюється тим, що населеність рухомого складу складає 50 відсотків, а в складі поїзда більше плацкартних вагонів, вартість проїзду в яких значно менша. При цьому середня швидкість руху потяга складає 40 км/год, а маршрут курсування пролягає через станції з низькою населеністю. Саме тому необхідно розглянути можливість скасування цього потяга або передачі його операторам РЖД.

На Львівській залізниці курсує п'ять поїздів міждержавного сполучення з Росією (табл. 2). Серед них лише Львів – Адлер (46/45) є збитковим. Це пояснюється тим, що відстань курсування по Укрзалізниці, де діє внутрішній тариф, складає майже 1500 км, а населеність поїзда при великій відстані є досить низькою і складає 55,5 %.

Таблиця 2

Розрахунок рентабельності поїздів формування Львівської залізниці у міждержавному сполученні за 2009 рік

№ поїзда	Напрямок	Кількість вагонів			Населеність, %	Кількість рейсів	Відстань по РЖД, км	Відстань по УЗ, км	Витрати, тис. грн	Доходи, тис. грн	Прибуток (збиток), тис. грн	Рентабельність (збитковість), %
		СВ	Плацкарт	Купе								
46/45	Львів – Адлер	-	7	7	55,5	182	719	1404	34449,8	23178,3	-11271,5	-32,7
74/73	Львів – Москва	-	11	4	79	365	458	520	32060,7	61238	29177,3	91
78/77	Ковель – Москва	-	11	4	65	365	386	520	32529,1	82811,8	50282,7	154,6
48/47	Львів – Санкт-Петербург	-	9	6	74	182	833	344	19016,7	21421,1	2404,4	12,6
142/ 141	Чернівці – Москва	-	12	4	80	365	672	520	37486,8	72023,1	34536,3	92,1

Найбільшу рентабельність має потяг Ковель – Москва (78/77), незважаючи на те, що відстань курсування цього поїзда по Укрзалізниці значно більша, ніж по РЖД, а населеність не перевищує 65 %. Інші поїзди московського напряму також є прибутковими, проте рентабельність їх менша.

Одеська залізниця (табл. 3) має сім поїздів міждержавного сполучення, з яких всього три прибуткові. Збитковими є всі поїзди, що курсують влітку. Збитковість поїзда Миколаїв – Москва пояснювалася вище.

Таблиця 3

Розрахунок рентабельності поїздів формування Одеської залізниці у міждержавному сполученні за 2009 рік

№ поїзда	Напрямок	Кількість вагонів			Населеність, %	Кількість рейсів	Відстань по РЖД, км	Відстань по УЗ, км	Витрати, тис. грн	Доходи, тис. грн	Прибуток (збиток), тис. грн	Рентабельність (збитковість), %
		СВ	Плацкарт	Купе								
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
24/23	Одеса – Москва	1	5	7	78	365	517	1009	29199,0	30341,7	1142,8	3,9
236/ 235	Одеса – Москва літо	-	9	6	73	78	517	1009	6497,4	3394,9	-3102,4	-47,7
464/ 463	Одеса – Москва літо	-	10	5	73	63	517	824	4593,4	2124,2	-2469,2	-53,8
66/65	Миколаїв – Москва	1	6	7	82	365	737	761	26345,2	24380,1	-1965,1	-7,5
62/61	Знам'янка – Шевченко – Москва	1	12	3	74	179	519	509	10137,8	13171,9	3034,1	29,9

Таблиця 3 (закінчення)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
217/ 218	Знам'янка – Москва літо	-	11	5	76	52	517	824	3791,6	2143,9	-1647,7	-43,5
560/ 559	Одеса – Санкт-Петербург за призначенням	1	8	2	74	10	540	739	728,5	1236,7	508,1	69,8

Південна залізниця має десять поїздів міждержавного сполучення (табл. 4). Найприбутковішими серед них є Харків – Мурманськ (427/428), який має рентабельність 316,9 %, та Харків – Москва (19/20), прибутковість якого складає 142,8 %. Це пояснюється тим, що відстань курсування по РЖД, де діє міждержавний тариф, у декілька разів більша, ніж по Укрзалізниці.

Таблиця 4

Розрахунок рентабельності поїздів формування Південної залізниці у міждержавному сполученні за 2009 рік

№ поїзда	Напрямок	Кількість вагонів			Населеність, %	Кількість рейсів	Відстань по РЖД, км	Відстань по УЗ, км	Витрати, тис. грн	Доходи, тис. грн	Прибуток (збиток), тис. грн	Рентабельність (збитковість), %
		СВ	Плацкарт	Купе								
19/ 20	Харків – Москва	2	4	4	69	365	741	40	19041,8	46230,2	27188,4	142,8
373/ 374	Харків – Брянськ	-	5	1	59	183	134	456	17567,9	9232,8	-8335,0	-47,4
311/ 312	Харків – Калінінград	-	4	2	58	182	880	499	7082,9	10245,4	3162,5	44,6
143/ 144	Харків – Санкт-Петербург	-	6	3	82	183	1425	40	10573,5	14297,4	3723,9	35,2
91/ 92	Полтава – Москва	1	5	4	78	182	741	180	11744,7	15866,4	4121,8	35,1
117/ 118	Суми – Москва	1	5	3	83	365	520	260	48831,1	31984,5	-16846,6	-34,5
79/ 80	Кременчук – Москва	-	7	4	74	182	520	449	37329,8	23537,4	-13792,4	-36,9
305/ 306	Харків – Воронеж	-	2	1	46	128	298	466	17700,8	1436,8	-16264,0	-91,9
427/ 428	Харків – Мурманськ	-	4	4	85	7	2399	500	277,6	1157,2	879,6	316,9
53/ 54	Харків – Владивосток	-	2	2	100	182	9512	202	30338,3	34876,6	4538,2	15

Інші поїзди московського напрямку є менш рентабельними, а поїзди Суми – Москва та Кременчук – Москва взагалі збиткові. Це пояснюється тим, що вони мають дуже багато зупинок на станціях із низькою населеністю, які розташовані переважно на території України, та

курсують із досить низькою середньою швидкістю, що не приваблює пасажирів. Те саме можна сказати про потяги Харків – Воронеж (305/306) та Харків – Брянськ (373/374). Їх збитковість складає 92 % та 47,4 % відповідно. Ці фактори роблять їх неконкурентоспроможними в порівнянні з автомобільним транспортом. З цих причин необхідно розглянути можливість скасування цих потягів або передачі цих напрямків операторам РЖД, а вивільнений рухомий склад використовувати для інших потягів.

Південно-Західна залізниця формує десять поїздів міждержавного сполучення (табл. 5). Серед них лише Київ – Астана є збитковим. Це можна пояснити низькою населеністю потяга, яка складає 57 %, при досить великій відстані курсування (3130 км).

Найприбутковішим є поїзд Київ – Москва (2/1), рентабельність якого сягає майже 343 %. Це пояснюється тим, що у складі потяга сім вагонів СВ, вартість проїзду в яких найбільша. При цьому він дуже популярний серед підприємців та бізнесменів, і середня швидкість його руху досить висока.

Інші потяги московського напрямку також є прибутковими, проте рентабельність їх менша.

Поїзди Київ – Адлер (17/18) та Київ – Кисловодськ (25/26) також є прибутковими, незважаючи на те, що їх населеність відповідно 61 % та 69 %, а відстань проїзду по Укрзалізниці, де діє внутрішній тариф, більша ніж по РЖД. Це можна пояснити тим, що міста Адлер та Кисловодськ знаходяться у рекреаційній зоні, що підвищує попит на перевезення, особливо у літній період.

Таблиця 5

Розрахунок рентабельності поїздів формування Південно-Західної залізниці у міждержавному сполученні за 2009 рік

№ поїзду	Напрямок міждержавного поїзда	Кількість вагонів			Населеність, %	Кількість рейсів	Відстань по РЖД, км	Відстань по УЗ, км	Витрати, тис. грн	Доходи, тис. грн	Прибуток (збиток), тис. грн	Рентабельність (збитковість), %
		СВ	Плацкарт	Купе								
2/1	Київ – Москва	7	-	5	71	182	489	353	11626,8	51529,3	39902,5	343
4/3	Київ – Москва	1	5	7	51	365	505	353	28423,1	70304,0	41880,9	147
6/5	Київ – Москва	2	3	7	47	365	379	353	26319,2	76533,7	50214,6	191
17/18	Київ – Адлер	1	7	4	61	182	728	840	27929,2	38500,1	10570,9	38
25/26	Київ – Кисловодськ	1	7	4	69	182	721	861	27897,9	44021,4	16123,5	58
42/57	Київ, Чернігів – Москва	1	8	7	60	365	387	355	30952,6	62037,1	31084,5	100
54/53	Київ – Санкт-Петербург	1	5	5	65	365	962	275	41293,5	63471,9	22178,4	54
56/55	Хмельницький – Москва	-	5	6	72	365	505	715	39028,2	75718,6	36690,4	94
89/90	Жмеринка – Москва	1	5	5	70	365	505	622	35759,3	71486,9	35727,6	100
108/107	Київ – Астана	-	3	6	57	104	3026	614	30084,1	17395,0	-12689,1	-42

Придніпровська залізниця формує найбільше поїздів міждержавного сполучення – 13 (табл. 6). При цьому всі поїзди курсують впродовж цілого року і є рентабельними. Найбільшу рентабельність має потяг Сімферополь – Москва (67/68) – 190,1 %, незважаючи на те що відстань курсування по РЖД, де діє міжнародний тариф, нижча, ніж по Укрзалізниці. Це пояснюється тим, що Сімферополь є «воротами» Криму, що підвищує попит на перевезення, особливо в літній період.

Інші потяги, що курсують між Кримом та Москвою і Мінськом, а саме: Севастополь – Москва (17/18), Керч – Москва (97/98), Феодосія – Москва (212/211), Сімферополь – Москва (207/208), Сімферополь – Мінськ (381/382), Севастополь – Москва (204/203) та Євпаторія – Москва (25/26) також є прибутковими, проте рентабельність їх нижча.

Поїзди Дніпропетровськ – Москва (15/16), Кривий Ріг – Москва (74/73), Бердянськ – Москва (69/70) є прибутковими та високорентабельними. Це пояснюється тим, що відстань курсування по РЖД, де діє міждержавний тариф, більша за відстань курсування по Україні.

Для міждержавного сполучення Укрзалізниця використовує 674 вагони (див. рис. 2). При цьому 36 із них – це вагони типу СВ, 382 вагони – плацкартні, а 256 вагонів – купейні.

Таблиця 6

Розрахунок рентабельності поїздів формування Придніпровської залізниці у міждержавному сполученні за 2009 рік

№ поїзда	Напрямок	Кількість вагонів			Населеність, %	Кількість рейсів	Відстань по РЖД, км	Відстань по УЗ, км	Витрати, тис. грн	Доходи, тис. грн	Прибуток (збиток), тис. грн	Рентабельність (збитковість), %
		СВ	Плацкарт	Купе								
15/16	Дніпропетровськ – Москва	1	7	5	73	365	697	337	27048	65476,5	38431,5	142,1
17/18	Севастополь – Москва	1	12	5	78	365	697	801	49624,4	122639,7	73015,2	147,1
67/68	Сімферополь – Москва	2	8	8	69	365	697	725	46650,4	135329,7	88679,3	190,1
74/73	Кривий Ріг – Москва	1	11	5	74	365	697	552	39009,4	89807,2	50797,7	130,2
69/70	Бердянськ – Москва	-	11	7	71	182	697	590	22234,6	46592,1	24357,6	109,5
97/98	Керч – Москва	1	10	9	73	365	697	827	52550,5	139351,0	86800,5	165,2
335/336	Дніпропетровськ – Санкт-Петербург	1	6	5	70	182	975	672	23460,4	33099,7	9639,3	41,1
381/382	Сімферополь – Мінськ	-	7	4	56	182	331	1198	25167	31776,6	6609,6	26,3
398/397	Сімферополь – Кисловодськ	-	8	4	61,5	182	737	595	19737,1	29874,2	10137,1	51,4
212/211	Феодосія – Москва	1	10	6	77	365	697	750	54134,3	111168,2	57033,9	105,4
207/208	Сімферополь – Москва	1	8	7	57	365	697	725	46375	69084,3	22709,2	49
204/203	Севастополь – Москва	-	6	10	79	365	697	793	50007,1	113720,9	63713,8	127,4
25/26	Євпаторія – Москва	1	11	7	78	365	697	753	51359,6	128461,5	77101,9	150,1

Проаналізувавши існуючий стан парку пасажирських вагонів, можна сказати, що на сьогодні Укрзалізниця має 1 146 вагонів зі строком використання менше 20 років. При цьому 90 од. – це вагони СВ, 633 – купейні вагони та 423 вагони відкритого типу. Для розкладу руху пасажирських поїздів на 2010 – 2011 роки кількість вагонів з терміном служби до 20 років складає 841 вагон, а наступний період – всього 481 одиниця.

Висновки

1. Укрзалізниця в міжнародному сполученні формує 53 поїзди, 11 з яких збиткові. Основні причини збитковості такі: відстань курсування за міждержавним тарифом менша, ніж за внутрішнім; низька населеність вагона; невелика кількість рейсів на рік; нераціональна композиція поїзда та ін.

2. Через декілька років Укрзалізниця відчує гострий дефіцит вагонів, які можна використовувати у міждержавному сполученні, що призведе до втрати рентабельних напрямків та витіснення її з міждержавного транспортного ринку. Тому першочерговим завданням Укрзалізниці є збереження прибуткових міждержавних рейсів.

Для цього необхідно:

– розглянути питання щодо методики визначення рентабельності пасажирського поїзда;

– розглянути можливість відмови від збиткових поїздів і таким чином зекономити пасажирські вагони та направити їх на більш прибуткові рейси;

– переглянути використання вагонів віком до 20 років у внутрішньому сполученні з метою передачі їх для міждержавних рейсів;

– закупити протягом 5 років до 300 одиниць нових вагонів за рахунок лізингу тільки для міжнародного сполучення;

– для раціонального використання прибутків від міждержавних та міжнародних перевезень передати ці перевезення окремій операторській компанії, 100 % акцій якої буде належати державі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Службовий розклад руху пасажирських поїздів 2009-2010 рр. [Текст] / відп. за випуск І. Б. Бреус; Держ. адміністрація залізничного транспорту України. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2009. – 998 с.

Надійшла до редколегії 17.05.2010.
Прийнята до друку 26.05.2010.

УДК 656.2.003.1

Ю. С. БАРАШ (ДІІТ)

РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В КРАЇНАХ КОЛИШНЬОГО СРСР

Статтю присвячено аналізу реформування залізничного транспорту в країнах колишнього СРСР. Визначено недоліки та переваги цього процесу.

Статья посвящена анализу реформирования железнодорожного транспорта в странах бывшего СССР. Определены недостатки и преимущества этого процесса.

The article is devoted to analysis of reforming the railway transport in countries of the former USSR. Demerits and advantages of this process are determined.

Вступ

Залізничний транспорт є основним видом транспорту в Україні, оскільки забезпечує близько 50 % вантажних та 38 % пасажирських перевезень. До сфери управління Державної адміністрації залізничного транспорту входять 210 підприємств, установ і організацій, на яких працює майже 400 тис. осіб. Крім того, на ринку залізничних перевезень функціонує 17 компаній-операторів з вантажних перевезень різних форм власності.

На сьогодні залізничний транспорт в основному задовольняє потреби суспільного виробництва й населення в перевезеннях. Проте ефективність діяльності галузі, якість послуг, що надаються споживачам, усе більшою мірою не відповідають сучасним вимогам та європейським стандартам, що створює реальні загрози для подальшого розвитку економіки та національної безпеки держави. Це призвело до того, що залізничний транспорт на ринку транспортних послуг втратив за останні 10 років 11 % обсягів пасажирських перевезень. Така ж негативна тенденція намітилася протягом 2003 - 2008 років у вантажних перевезеннях.

Системний аналіз стану й напрямів розвитку галузі показує, що в її діяльності існує низка серйозних проблем:

– недостатня ефективність системи державного регулювання;

– невідповідність організаційної структури управління галуззю умовам сучасного ринку;

– недосконалість нормативно-правової бази функціонування залізничного транспорту;

– порушення принципу простого відтворення основних виробничих засобів;

– недостатня ефективність діяльності галузі;

– низька продуктивність праці та недостатній рівень мотивації працівників.

До цього слід додати негативний вплив на діяльність залізничного транспорту світової фінансової кризи, яка розпочалася в четвертому кварталі 2008 року.

Галузь потребує негайного реформування для підвищення ефективності її функціонування та інтеграції до європейської транспортної системи. Згідно з Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки, затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390, Укрзалізниця мусить провести корпоративну реструктуризацію, що передбачає перебудову її організаційної структури управління за інтеграційною моделлю.

Постановка задачі

Для ефективного реформування залізничної галузі України необхідно вивчити досвід реструктуризації залізничного транспорту в країнах колишнього СРСР, ознайомитися з позитивними та негативними наслідками процесу реформування. Залізничний транспорт цих країн має багато спільного з Укрзалізницею, оскільки був частиною загальної транспортної системи Міністерства шляхів сполучення СРСР, яка існувала до 1992 року. Детальне дослідження негативних наслідків структурної реформи дозволить уникнути небажаних помилок або послабити їх дію.

Результати

Як приклад було вивчено досвід залізничних адміністрацій трьох країн пострадянського простору: Росії, Казахстану та Естонії, які по-

© Бараш Ю. С., 2010

різному підходили до процесу реформування галузі.

Реформа залізничного транспорту Російської Федерації

Реформа залізниць Росії проводиться відповідно до Програми структурної реформи на залізничному транспорті, затвердженої постановою Уряду РФ від 18 травня 2001 р. № 384 [1].

Необхідність реформування залізничного транспорту була викликана рядом фактів:

- Постійно знижувалася ефективність залізничного транспорту.
- Якість і асортименти послуг перестали задовольняти споживачів.
- Високий ступінь зношування основних фондів (інфраструктури залізниць, локомотивів, пасажирських і вантажних вагонів) в умовах практично повної відсутності закупівель нової техніки в 90-х роках.
- Міністерство шляхів сполучення Росії було органом виконавчої влади, що суміщало функції державного регулювання й господарської діяльності.
- Тарифна система була негнучкою й важкопрогнозованою, що знижувало конкурентоспроможність залізниць порівняно з іншими видами транспорту.
- Використовувалося перехресне субсидування збиткових пасажирських перевезень прибутковими вантажним.
- Кількість працівників на залізничному транспорті була значною, рівень оплати їхньої праці, мотивація були низькими, виникла загроза відпливу кваліфікованих кадрів із залізниць.

Структурна реформа на залізничному транспорті мала своїми завданнями:

- підвищення стійкості роботи залізничного транспорту, його доступності, безпеки та якості надаваних ним послуг для забезпечення єдиного економічного простору країни й загальнонаціонального економічного розвитку;
- формування єдиної гармонічної транспортної системи країни;
- зниження сукупних народногосподарських витрат на перевезення вантажів залізничним транспортом;
- задоволення зростаючого попиту на послуги залізниць.

Реформу залізничного транспорту, відповідно до Програми, передбачалося провести трьома етапами: 2001-2002 рр. – 1-й етап; 2003-2005 рр. – 2-й етап; 2006-2010 рр. – 3-й етап (рис. 1 подано російською мовою).

У рамках першого етапу структурної реформи проведено наступні заходи:

1. Розділено функції державного регулювання й господарської діяльності відповідно між МШС Росії й новоутвореним ВАТ «Російські залізниці».
2. У 2004 р. МШС Росії скасовано, його функції передані Міністерству транспорту РФ (загальне нормативно-правове регулювання, відповідальність за проведення реформи), Федеральній службі з нагляду у сфері транспорту (контроль і нагляд) і Федеральному агентству залізничного транспорту (управління державним майном, реалізація федеральних цільових програм та ін.). Крім цих відомств діяльність залізничного транспорту регулюють Федеральна антимонопольна служба (контроль за діяльністю природних монополій) і Федеральна служба з тарифів (встановлення тарифів на перевезення вантажів і пасажирів у дальньому сполученні).
3. Виконано інвентаризацію майна залізничного транспорту.
4. З 2004 року застосовано роздільний облік і формування фінансової й бухгалтерської звітності ВАТ «РЖД» за видами діяльності (окремо за вантажними перевезеннями, пасажирськими перевезеннями в дальньому та приміському сполученні, з надання послуг інфраструктури, ремонту рухомого складу й ін.).
5. У 2003 р. прийнятий новий прейскурант на перевезення вантажів і послуги інфраструктури, які надаються ВАТ «РЖД».
6. З 2001 р. на залізничному транспорті активно розвивається «операторська діяльність» у сфері надання вагонів для перевезення вантажів, з кожним роком частка вантажів, перевезених у приватних вагонах, збільшується.

На другому етапі структурної реформи:

1. Активно створюються дочірні й залежні товариства ВАТ «РЖД» за різними видами діяльності залізничного транспорту (з організації перевезень вантажів у спеціалізованому рухомому складі; капітального ремонту й модернізації локомотивів, пасажирських та вантажних вагонів, колійної техніки; капітального будівництва; телекомунікацій та ін.);
2. Лібералізуються тарифи на перевезення пасажирів у дальньому сполученні в купейних вагонах і вагонах «СВ» (їх установлює ВАТ «РЖД» самостійно, за державою залишається регулювання тарифів на перевезення в плацкартних і загальних вагонах).



Рис. 1. Етапи реформування залізничного транспорту Росії

На третьому етапі структурної реформи:

1. Відбувається реформування пасажирського комплексу дальнього сполучення: 1 липня 2006 р. створюється Федеральна пасажирська дирекція (ФПД) як філія ВАТ «РЖД», на баланс якої передаються пасажирські вагони й майно пасажирського господарство. Окремо в рамках ВАТ «РЖД» створюється філія – Дирекція залізничних вокзалів.
2. У грудні 2009 р. засновується ВАТ «Федеральна пасажирська компанія» (як дочірнє підприємство ВАТ «РЖД») на базі майна ФПД.
3. Створюються приміські пасажирські компанії (спільно ВАТ «РЖД» і адміністраціями суб'єктів РФ), які забезпечують перевезення пасажирів у приміському сполученні. Ряд суб'єктів РФ регулюють тарифи й виділяють субсидії на приміські перевезення, однак їхній розмір не покриває всіх збитків за цим видом діяльності; як і раніше, зберігається перехресне субсидування за рахунок вантажних перевезень.
4. З 2007 р. починають виділятися субсидії з федерального бюджету на перевезення пасажирів у дальньому сполученні в загальних і плацкартних вагонах, але їхній розмір склав менше 50% від необхідної суми; з кожним роком їхня частка в покритті збитків збільшується, але 100 % вона повинна досягти тільки до 2011 р.
5. У 2007 р. створюється ВАТ «Перша вантажна компанія» (дочірнє підприємство), на баланс якого передається значний парк спеціалізованих і універсальних вантажних вагонів; таким чином, з 2008 р. більше 60 % вантажних вагонів перебувають у власності компаній-операторів.
6. У 2010 р. планується створення «Другої вантажної компанії», якій буде передана решта парку вантажних вагонів власності ВАТ «РЖД» (за винятком вагонів, необхідних для власних технологічних потреб ВАТ «РЖД»).
7. Відбувається реорганізація системи управління ВАТ «РЖД», перехід від регіонального принципу управління до функціонального.

Результати виконання Програми структурної реформи на сьогоднішній момент

Ряд завдань реформи не виконані, а реалізація деяких заходів призвела до негативних результатів:

- На початок 2010 р. 66 % вантажних вагонів належать приватним компаніям-операторам, яких налічується 2500 і з яких тільки 12 мають парк, що перевищує 5 тис. ва-

гонів. Велика кількість дрібних компаній у галузі, відсутність єдиного скоординованого управління вагонним парком призвели до збільшення зустрічних потоків порожніх вагонів, скупчення «кинутих» вагонів на станціях, що заважає нормальній роботі залізниць. У результаті сьогодні більшим за чисельністю парком перевозиться менший обсяг вантажу, у порівнянні з ефективністю роботи залізничного транспорту наприкінці 1980-х років.

- Виникли диспропорції в обслуговуванні клієнтів і розподілі прибутку від перевезень: приватні оператори, як правило, перевозять високорентабельні й дохідні вантажі, у той час як ВАТ «РЖД» як публічний перевізник змушений перевозити малоприбуткові вантажі, що знижує рентабельність національної залізничної компанії.
- Зберігається збитковість пасажирських перевезень. У 2008 році збитки від пасажирських перевезень склали 31,7 млрд руб. у дальньому й 34,8 млрд руб. – у приміському сполученні. При цьому субсидії на покриття цих збитків з бюджетів були виділені відповідно в розмірі 19,6 і 2,0 млрд руб. Відсутня сума компенсується доходами від вантажних перевезень.
- Істотного залучення приватних інвестицій у розвиток інфраструктури залізничного транспорту не відбулося. У 2009 р. 81,2 % від загального розміру інвестиційної програми ВАТ «РЖД» було профінансовано за рахунок коштів самого ВАТ «РЖД».
- Розвитку конкуренції між перевізниками на залізничному транспорті не відбулося. ВАТ «РЖД» на сьогоднішній день є єдиним публічним перевізником вантажів, виконує більше 99 % пасажирообороту в дальньому сполученні, а приміські пасажирські перевезення виконуються тільки компаніями холдингу ВАТ «РЖД».
- Виникло істотне відставання розвитку нормативно-правової бази від розвитку самого залізничного транспорту.

Закінчення третього етапу структурної реформи

Відповідно до Програми структурної реформи, мета третього етапу – «створення розвиненого конкурентного ринку залізничних перевезень». Для цього Програмою передбачено:

- оцінка доцільності й способів повного організаційного відділення інфраструктури від перевізної діяльності;
- розвиток приватної власності на магістральні локомотиви;
- продаж ліцензій на здійснення пасажирських перевезень у приміському сполученні з обмеженим терміном дії (франшиз);
- оцінка можливості створення декількох конкуруючих між собою вертикально інтегрованих залізничних компаній.

На сьогоднішній день залізничний транспорт об’єктивно не готовий до настільки глобальних перетворень. Більше того, експертами доцільність даних заходів ставиться під сумнів. Рішення про проведення цих перетворень не прийняті.

Оцінка результатів реформування залізничного транспорту державними органами й окремими фахівцями Росії.

У Раді Федерації 25 березня 2010 року відбулися парламентські слухання на тему «Підсумки третього етапу реформування залізничного транспорту», на яких *президент ВАТ «РЖД» Володимир Якунін* категорично заявив, що питання про доцільність відділення інфраструктури від вантажних перевезень мусить бути знято з порядку денного. І як головний аргумент він посилається на досвід реформування залізничного транспорту в інших країнах. У США по одному напрямку іноді ідуть п’ять паралельних магістралей. А в нас існує одна ниточка, що називається Транссиб. Тому створення конкуруючих на паралельних ходах вертикально-інтегрованих залізничних компаній неможливо. Він також назвав ряд причин, які не дозволяють реалізувати програму третього етапу реформи в тому вигляді, у якому це планувалося у 2003 році, а саме:

1. Неможливість виділення послуг локомотивної тяги. На його думку, локомотивна тяга є технологічним елементом процесу перевезення й не може використовуватися як таксі.
2. Поділ Федеральної пасажирської компанії за територіальною ознакою треба взагалі виключити. Конкуренція в пасажирських перевезеннях повинна розвиватися через боротьбу за державне замовлення й франшизу – продаж товарів і послуг у порядку комерційної концесії, що дозволяє залучити приватні інвестиції.
3. Недосконаліть тарифної політики: немає методики розрахунку ефективності вкладення державних коштів у розвиток залізничного транспорту; не закріплено в нормативній практиці обов’язок держави компенсувати перевізникові доходи, що не отримані через державне регулювання тарифів.
4. ВАТ «РЖД» пропонує прийняти «Цільову модель ринку вантажних залізничних перевезень», що була розроблена разом з консалтинговою компанією McKinsey. За цією моделлю «Друга вантажна компанія» повинна бути створена на основі інвентарного парку вагонів ВАТ «РЖД» із залученням рухомого складу інших операторів. Це дозволить сформувати рівні умови конкуренції. Модель припускає також

появу локальних перевізників, які будуть конкурувати за маршрут.

За підсумками наради було дане доручення провести аналіз соціально-економічних результатів, досягнутих у ході структурної реформи. У принципі було визнано, що в 2010 році не можна завершити третій етап структурних реформ. Мінтранс має подати план заходів на 2010-2011 роки із завершення третього етапу реформування.

Завідувач лабораторії аналізу й прогнозування транспортно-логістичних систем Інституту народногосподарського прогнозування РАН проф., д-р екон. наук Ю. А. Щербанін висловив свої зауваження з приводу проміжних результатів реформування залізничної галузі:

1. Представники науки, у т.ч. і академічної, неодноразово звертали увагу реформаторів на необхідність ретельного пророблення фундаментальних економічних проблем на залізничному транспорті, що мають свою, російську специфіку.
2. Реформування галузі відбувалося під девізом ліквідації «природної монополії». Для цього необхідне глибоке й ретельне вивчення проблем «монополії» взагалі, але сьогодні, на основі десятилітнього досвіду реформ, немає доказів і ілюстрації того, що новостворена залізнична конструкція економічно більш вдала, ніж МШС-монополіст.
3. Після завершення реформ у ВАТ «РЖД» залишаться головні й станційні колії, системи енергопостачання, сигналізація й зв'язок. Усе інше буде в приватних руках. В цих умовах Держава не зможе далі впливати на залізниці.
4. Утворені операторські компанії (зараз 2,5 тисячі власників вагонів і майже сотня операторських компаній) володіють величезним вагонним парком але реальні показники їхньої роботи гірші, ніж у ВАТ «РЖД» за основним інтегральним показником – оборот вагона: у ВАТ «РЖД» – 8,5 доби, у приватних компаній – 13. На перший погляд, у Росії виник ринок абсолютної чистої конкуренції (що дуже добре з погляду ринкових теорій), а показники роботи погіршуються порівняно з часами «монстра МШС». Оператори продають послуги, але продукції не створюють.
5. Залізнична галузь «приречена» на централізоване управління вагонним парком. В епоху «монополії МШС» порожні вагони після вивантаження йшли відповідно до заздалегідь розроблених планів у місця навантаження, і відхилення від плану усувалися шляхом оперативного регулювання. Таким чином, скорочувалися мінімальний порожній пробіг і час обороту вагонів. В умовах приватизації вагонного парку основний фактор управління його роботою – регулювання переміщення порожніх вагонів між залізницями й подачі їх під навантаження – не діє.
6. За роки реформ технічна оснащеність залізниць не покращилася. У документах з проведення реформи чітко говориться про те, що будуть притягнуті численні інвестиції, які дозволять забезпечити залізниці сучасним рухомим складом власного виробництва. Цього не відбулося, оскільки приватні компанії практично ніколи не беруть участь у будівництві великих інфраструктурних об'єктів із тривалим строком окупності.
7. Поступове скорочення перевезень пасажирів поїздами приміського сполучення суттєво впливає на перевантаження міських і окружних автодоріг у великих російських мегаполісах.

Реформа залізничного транспорту Республіки Казахстан

8 квітня 2010 року Урядом Республіки Казахстан обговорювалося питання про результати реформування залізничного транспорту (рис. 2 подано російською мовою) і про основні напрямки його розвитку до 2020 року [3].

Було відзначено, що за останні 10 років Урядом було прийнято дві програми реформування галузі. У цілому, проміжні результати структурно-інституціональної реформи галузі були позитивними. У результаті реформ:

- із складу Національної компанії «Казахстан темір жолы» (АТ НК «КТЖ») було виведено непрофільні види господарської діяльності й соціально-побутові активи;
- ремонтні компанії передані в конкурентний сектор;
- пасажирські перевезення відділені від вантажних;
- законодавчо визначена сфера природної монополії залізничного транспорту – послуги з надання магістральної інфраструктури;
- впроваджено механізм державного субсидування пасажирських перевезень;
- у бюджетний кодекс уведено норми, що передбачають державне фінансування залізничної інфраструктури;
- сформовано ринок оперування вагонами;
- впроваджено механізм фінансування й будівництва інфраструктурних об'єктів на концесійній основі.

Однак не всі заходи виконані в повному обсязі й деякі цілі реформи поки не досягнуті. Діюча модель залізничного транспорту характеризується в такий спосіб:

- конкурентний ринок сформований тільки в сегменті оперування вагонами й пасажирськими перевезеннями (конкуренція "за ринок");
- операційна модель сформована в результаті реструктуризації не за функціями, а за групами активів;
- основні сегменти – послуги інфраструктури;
- й перевезення вантажів і пасажирів функціонують у монопольному режимі під твердим і неефективним державним регулюванням;
- тарифи на послуги залізничного транспорту на практиці, є інструментом соціально-економічної політики.



Рис. 2. Етапи реформування залізничного транспорту Республіки Казахстан

У період з 1996 по 2008 рік середньорічний приріст тарифів склав усього 5 %. Через відставання зростання тарифів стосовно зростання цін в економіці галузь була не в змозі акумулювати інвестиції для відновлення основних засобів. У результаті зношування об'єктів залізничної інфраструктури на сьогодні становить 70 %, а рухомого складу – 72 %.

Порівнюючи залізничні тарифи Казахстану, Росії й Білорусі, видно, що середній рівень тарифів у Росії у 2,3 разу вище за середній рівень тарифів Казахстану, а в Білорусі – у 1,7 разу. У 2008 році з республіканського бюджету на покриття збитків пасажирських перевезень виділено – 9,4 млрд тенге, або 25 % від потрібного обсягу субсидій.

Відставання темпів розвитку залізниці від сучасних потреб економіки й населення зумовлено такими проблемами:

- збереження перехресного субсидування соціально значущих послуг за рахунок рентабельних;
- рівень тарифів не забезпечує покриття операційних та інвестиційних витрат;
- нерівні умови ціноутворення для АТ «НК «КТЖ» (АТ «Казтеміртранс») і приватних операторів вантажних вагонів;
- за допомогою діючої тарифної політики здійснюється субсидування окремих галузей економіки (гірничодобувної, будівельної й агропромислової).

У період до 2020 року середньорічна потреба в державних субсидіях становить – 41,8 млрд тенге. З урахуванням динаміки вибуття за терміном служби основних засобів для забезпечення прогнозних обсягів перевезень до 2020 року необхідно здійснити:

- модернізацію й оновлення 12 тис. км верхньої будови колії;
- реконструкцію 236 об'єктів штучних споруд;
- придбання 1,5 тисяч локомотивів, 53 тисяч вантажних і близько 2 тисяч пасажирських вагонів.

Для забезпечення розвитку галузі, підвищення ефективності та якості послуг, залучення інвестицій у відновлення активів розроблені основні напрямки розвитку залізничного транспорту Республіки Казахстан до 2020 року. Передбачено реорганізацію АТ «НК «КТЖ» у холдингову структуру з корпоративним центром і дочірніми компаніями з перевезення вантажів, пасажирів і послуг магістральної залізничної мережі.

Реформа державного регулювання буде здійснюватися поетапно. У 2010 році передбачається виведення вагонної складової тарифу за перевезення вантажів з-під державного тарифного регулювання, а з 2013 року – дерегулювання перевізної діяльності. При цьому планується забезпечення 72 % необхідних обсягів інвестицій за рахунок власних коштів АТ «НК «КТЖ», 4 % – за рахунок коштів республіканського й місцевого бюджету і 24 % – за рахунок приватних інвестицій. Кошти держбюджету разом з інвестиціями приватного сектора й Національної компанії «КТЖ» будуть спрямовані на відновлення пасажирського рухомого складу.

Таким чином, впровадження цільової моделі галузі припускає ухвалення основних рішень на урядовому рівні й на рівні АТ «НК «КТЖ». *На рівні держави необхідно забезпечити:*

- встановлення рівня залізничних тарифів, необхідного для оновлення парку вагонів і локомотивів і реабілітації магістральної залізничної мережі;
- скасування тарифного регулювання АТ "НК "КТЖ" стосовно операторської і перевізної діяльності незалежно від частки, що займе Національна компанія на відкритому ринку;
- 100 %-ве субсидування соціально значущих перевезень і цільове фінансування за рахунок коштів республіканського бюджету інвестицій у пасажирський рухомий склад.

У свою чергу, АТ «НК «КТЖ» має здійснити:

- відділення перевізної діяльності від інфраструктури й створення технологічного механізму недискримінаційного доступу до інфраструктури незалежних перевізників;
- реалізацію інвестиційної програми й проведення модернізації й відновлення основних засобів у повному обсязі.
- досягнення конкурентоспроможного рівня якості транспортних послуг.

Казахстан позбудеться дефіциту пасажирських вагонів уже в 2014 році. Це відбудеться за рахунок капітально-відновлювального ремонту наявного парку, а також оптимізації пасажирських маршрутів і їхнього переводу на швидкісний рух. Для підвищення конкурентоспроможності «КТЖ» і збільшення його частки на ринку перевезень необхідне збільшення кількісного складу й зміна структури вагонного парку за рахунок збільшення частки вагонів для перевезення високоприбуткових вантажів. Протягом 3…4 років необхідно закупити більше 12 тисяч вагонів для заміщення іноземних операторів у дохідних сегментах ринку. Це дозволить збалансувати на ринку частку високоприбуткових і соціально значущих послуг.

Крім того, для доведення рівня зношування активів до нормативного, якісної їхньої модернізації й забезпечення адекватної транспортної основи зростання економіки в період до 2020 року компанія планує інвестувати порядку 3 трильйонів тенге. У тому числі:

- 1 трильйон 294 мільярда – у відновлення парку вантажних вагонів і тягового рухомого складу;
- 105 мільярдів тенге – у відновлення пасажирських вагонів;
- 1 трильйон 424 мільярда – у модернізацію об’єктів магістральної інфраструктури;
- 241 мільярд – у телекомунікаційну інфраструктуру.

З метою забезпечення інвестиційної потреби залізничної галузі необхідно: підвищення тарифу у 2010 році на 17,6 %, з 2011 по 2014 рр. – на 15 % щорічно з подальшим коректуванням на рівні інфляції; відновлення пасажирського рухомого складу до 2020 року за рахунок коштів республіканського бюджету в розмірі близько 160 млрд тенге; здійснення дерегулювання тарифів за вагонною складовою у 2010 році й за перевізною діяльністю у 2013 році.

Реформування й структурні перетворення залізничного транспорту Естонії

Реформування й структурні перетворення залізничного транспорту Естонії розпочалися відразу після утворення в січні 1992 року державного підприємства «Естонська залізниця» й проходили за чотири етапи [2]:

І етап – з 1992 року по 1996 рік проходив не безболісно, але результативно. Цей період був періодом виживання й становлення самостійної Естонської залізниці. Обсяги перевезень різко впали, доходи зменшилися. Усі доходи від перевезень ішли на виплату зарплати працівникам, придбання палива для поїзної й маневрової роботи й на покриття витрат за деякими іншими найважливішими для залізниці позиціями.

У цих умовах керівництво залізниці за згодою Уряду в особі Міністерства транспорту й зв’язку Естонської Республіки почали процес відділення від Державного підприємства «Ес-

тонська залізниця» (далі ДП «Естонська залізниця») неосновних видів діяльності з подальшою передачею органам місцевого самоврядування дитячих садків, житлового фонду, водопостачання; державним інституціям – технікуму, профтехучилища, лікарні, поліклініки і архіву.

Було започатковано реорганізацію:

- колійного господарства (створене спільне із ДП «Естонська залізниця» підприємство EVR Koehne AS у 1996 році);
- дирекції пасажирських перевезень;
- підприємства «Катон» (вантажно-розвантажувальна дистанція);
- колійної машинної станції;
- будівельних організацій;
- підприємств відділу робочого постачання;
- відділу воєнізованої охорони.

Також розпочато роздержавлення залізничних під'їзних колій.

Одночасно ДП «Естонська залізниця» починає розвивати міжнародні зв'язки й діяльність, а також встановлювати й розвивати двосторонні зв'язки з іншими залізничними адміністраціями.

ІІ етап структурних змін – з 1996 по 1999 рік – здійснювався на основі Програми Уряду Естонської Республіки, затвердженої розпорядженням Уряду № 442-ДО 1997 року «Про реорганізацію й приватизацію ДП «Естонська залізниця».

Одним із перших найбільших залізничних підприємств було приватизовано Державне акціонерне товариство «Валгаське рефрижераторне депо» (VKD).

З 1998 року починає свою діяльність АТ «Естонська залізниця». Закінчено процес приватизації малодіяльної залізничної ділянки Рийзипере – Хаапсалу (52,5 км) із попереднім припиненням на ній в 1995 році пасажирського руху.

У 1996 році покладено початок реорганізації місцевого пасажирського руху, здійснюваного дизель-поїздами. У ході цієї реорганізації в 1997 році було утворено акціонерне товариство «Эдела Раудтеэ», якому перейшло від ДП «Естонська залізниця» 277,0 км головних колій, два депо з ремонту дизель-поїздів і все, що пов'язане з організацією пасажирських перевезень дизель-поїздами. У цьому ж році це акціонерне товариство було приватизовано, а її інфраструктура визнана публічною.

Паралельно з акціонуванням і приватизацією місцевих пасажирських перевезень, що обслуговуються дизель-поїздами, ішов процес з підготовки відділення від ДП «Естонська залізниця» в акціоноване товариство всього, що пов'язане з перевезеннями пасажирів електропоїздами (персонал, рухомий склад, електродепо й частина маленьких вокзалів) .

У 1999 році утворено АТ «Электрираудтеэ» й закінчена реорганізація пасажирських перевезень із утворенням АТ EVR Ekspress, що почало здійснювати міжнародні пасажирські перевезення. Спочатку 51 % акцій належала ДП «Естонська залізниця» і 49 % – приватній фірмі. Потім усі акції продані приватному власникові.

У 1999 році був повністю завершений поділ вантажних і пасажирських перевезень. На цьому ж етапі тривала реорганізація колійного господарства. Утворене в 1996 році підприємство EVR AO EVR Koehne повністю перейшло приватній фірмі й почало здійснювати як ремонт, так і поточне утримання колії.

ІІІ етап структурних змін – з 1999 по 2006 рік іде підготовка до приватизації АТ «Естонська залізниця» й діяльність приватизованої залізниці.

У 1999 році Парламент Естонської Республіки прийняв нове рішення про реорганізацію й приватизацію АТ «Естонська залізниця». Скандальний процес приватизації був закінчений у 2001 році – переможцем визнаний AS BRS, що став власником 66 % акцій Естонської залізниці, 34 % акцій належало державі.

Із січня 2001 року почав утворюватися ринок перевезень вантажів.

Позитивні наслідки реформи

1. Підвищилася безпека руху поїздів з урахуванням стандартів ЄС.
2. Змінилася культура виробництва й ставлення до цього питання.
3. Багато зроблено із гарантування безпеки перевезень небезпечних вантажів.
4. Відбувається відновлення техніки й рухомого складу. Впроваджено новий тип локомотивів серії «З» з навантаженням на вісь 30 т. Колійне господарство стало здійснювати поточне утримання колії в основному технікою на автозалізничному ходу (HR). Рятувальна техніка одержала серйозне відновлення.
5. Для забезпечення ефективності роботи підприємства йшов постійний процес відновлення технології роботи залізниці з відповідними змінами структури.

До негативних наслідків реформи *варто віднести:*

1. Перешкоджання процесу реформування галузі з боку Державних контрольних органів.
2. Порушення цілісності колійного господарства. Окремі підрозділи його були передані в інші підрозділи інфраструктури.
3. Структурні зміни і скорочення працівників, які необхідні для забезпечення ефективної роботи підприємства

4. Відставання підготовчих процесів до проведення змін (технологія, навчання, зміни нормативних документів) від процесів реформування.

У цілому цей етап дав багато позитивного в зміні мислення працівників. Він підготував залізницю до гірших часів, коли відбувся різкий спад вантажної роботи.

IV етап структурних змін – 2006-2009 рік. У 2006 році Уряд Естонської Республіки ухвалив рішення щодо викупу державою назад 66 % акцій АТ «Естонська залізниця», і з січня 2007 року держава стала єдиним його власником.

У 2009 році був утворений концерн АТ «Естонська залізниця» в складі трьох акціонерних товариств: АТ «Естонська залізниця» й дочірні фірми АО EVR Infra, АО EVR Cargo.

На цьому майже повністю виконано вимоги директиви ЄС про відділення інфраструктури від перевізної діяльності й задіяно європейську модель реформування залізниць. Для повного виконання вимог директив ЄС потрібно повністю відокремити вантажних перевізників від інфраструктури.

Висновки

Проведений аналіз досвіду реформування залізничного транспорту в Росії, Казахстані та Естонії дозволив зробити такі висновки:

1. Реформування залізничного транспорту в країнах, де економіка працює в умовах сучасного ринку, є процесом необхідним, оскільки держава не в змозі більше фінансувати галузь у повному обсязі.

2. Кожна з країн пострадянського простору виконує реформування залізничної галузі за різними моделями, залежно від орієнтирів та цілей, які вона ставить перед собою. Але всі вони спочатку починають реформування залізничного транспорту за інтеграційною моделлю, яка передбачає тісний зв'язок між процесом перевезень та інфраструктурою залізниць.

3. Всі залізничні адміністрації перелічених вище країн стикнулися з проблемою суттєвого зниження обсягів вантажних і пасажирських перевезень, старіння основних фондів, відсутності інвестицій на їх оновлення, компенсації збитків від пасажирських перевезень та компенсації коштів за перевезення пільгових категорій громадян.

4. Всі залізничні адміністрації досягли певних успіхів у процесі реформування залізничної галузі, але при цьому зробили низку помилок, а саме:

- Естонія для прискорення реформування залізничного транспорту передчасно продала 66 % акцій залізничної інфраструктури приватній компанії, що негативно позначилося на діяльності залізниці. Для ліквідації цих наслідків Уряд Естонії викупив назад усі акції і держава стала єдиним власником інфраструктури. Крім того, було порушено цілісність колійного господарства. Окремі підрозділи його були передані в інші підрозділи інфраструктури.
- Поява значної кількості компаній-операторів з перевезення вантажів в Росії та Казахстані призвела до втрати управління парками рухомого складу та погіршення показників його роботи. Як наслідок, оборот вагона у Росії становить: у ВАТ «РЖД» – 8,5 доби, а у приватних компаній – 13 діб.
- Розвитку конкуренції між перевізниками на залізничному транспорті не відбулося. Так, у Росії ВАТ «РЖД» на сьогоднішній день є єдиним публічним перевізником вантажів, виконує більше 99 % пасажирообороту в дальньому сполученні, а приміські пасажирські перевезення виконуються тільки компаніями холдингу ВАТ «РЖД». За роки реформ технічна оснащеність залізниць не покращилася.
- У Казахстані до сих пір не вдосконалено тарифну політику, яка призвела до зберігання перехресного субсидування соціально значущих послуг за рахунок рентабельних та субсидування окремих галузей економіки (гірничодобувної, будівельної й агропромислової) за рахунок залізниць. Крім того, рівень встановлених тарифів не забезпечує покриття операційних та інвестиційних витрат і створює нерівні умови ціноутворення для АТ «НК «КТЖ» (АТ «Казтеміртранс») і приватних операторів вантажних вагонів, що не сприяє розвитку розвитого ринку.

З огляду на сказане можна дійти висновку, що при проведенні реформ у залізничній галузі слід досконально вивчити досвід залізничних адміністрацій вказаних країн для уникнення помилок та негативних наслідків.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. О реформировании железнодорожного транспорта в государствах Содружества [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://rian.ru/politics/20011022/2820.html
2. Концепция реформирования и структурных преобразований железнодорожного транспорта Эстонии (Презентация) [Текст].
3. Программа развития железнодорожного транспорта республики Казахстан и стратегия развития АО «НК «КТЖ» до 2020 года (Презентация) [Текст].

Надійшла до редколегії 03.06.2010.
Прийнята до друку 16.06.2010.

УДК 330.322.011

Н. І. ВЕРХОГЛЯДОВА, Д. Л. ЛЕВЧИНСЬКИЙ (ПДАБА, Дніпропетровськ)

ПРИНЦИПИ І ПОРЯДОК ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕРИТОРІЙ

У статті наводиться аналіз фактичного стану системи формування інвестиційних проектів з комплексної реконструкції території великих міст, а також принципи і порядок планування та організації інвестиційної діяльності з метою забезпечення даного завдання.

В статье приводится анализ фактического состояния системы формирования инвестиционных проектов по комплексной реконструкции территории больших городов, а также принципы и порядок планирования и организации инвестиционной деятельности в целях обеспечения данной задачи.

The paper is devoted to an analysis of actual condition of a system of formation of investment projects on the complex reconstruction of territory of great cities as well as to the principles and order of planning and organizing the investment activity aimed at providing this task.

Актуальність проблеми

Головне завдання комплексної реконструкції території великих міст складається в розробці та забезпеченні передінвестиційного обґрунтування заходів щодо найважливіших напрямків нового будівництва, реконструкції, знесення, модернізації, і капітального ремонту в районах житлової забудови на основі ресурсозберігаючих методів, використання ринкових механізмів і змішаних схем фінансування, посилення впливу інвестиційних факторів на підвищення ефективності реконструкції, строків і якості робіт у даній галузі.

Аналіз останніх наукових досягнень і публікацій

Методологічною основою проведених досліджень послужили наукові праці та розробки Н. І. Барановської, С. С. Бачуріної, В. В. Владімірова, Л. Я. Гецберга, В. А. Єпіфанова, Б. М. Колотілкіна, Ю. С. Попкова, В. І. Ресіна, Т. Н. Чистякової, О. Б. Шевцової, А. К. Шрейбера та ін.

Виклад основного матеріалу дослідження

У цей час правовою основою інвестиційної діяльності в нашій країні служить Закон України «Про інвестиційну діяльність» (Відомості Верховної Ради України, 1991, № 47, ст. 646).

Зазначений документ визначає правові і економічні основи інвестиційної діяльності, здійснюваної у формі капітальних вкладень на території України, а також установлює гарантії рівного захисту прав, інтересів і майна суб'єктів інвестиційної діяльності незалежно від форм власності.

Отже, комплексна реконструкція територій великих міст, здійснювана за рахунок залучення як державних, так і часток інвестицій, підпадає під чинність даного закону.

Об'єктами капітальних вкладень в Україні є різні види знову створюваного й/або модернізованого майна, яке знаходиться в приватній, державній, міській та іншій формах власності, за вилученнями, установлюваними державними законами.

Виходячи із цілей інвестиційної діяльності, здійснюваної при комплексній реконструкції територій великих міст, до них відносяться об'єкти житлового призначення, створювані в рамках реалізації інвестиційних проектів, а також різні об'єкти міської інфраструктури відповідно до положень Містобудівного кодексу України.

Стосовно існуючої системи органів місцевого самоврядування замовниками інвестиційної діяльності у великих містах є відповідні комітети, можливо – комітети у відповідних округах великих міст, а також державні підприємства та установи, що здійснюють передконкурсну підготовку, організацію проведення конкурсу по підбору інвестора й висновок інвестиційного контракту з переможцем конкурсу. В існуючій системі органів місцевого самоврядування інвесторами можуть бути також замовники будівництва, що беруть участь у частковому будівництві інвестиційного об'єкту.

Стосовно інвестиційної діяльності, здійснюваної при комплексній реконструкції територій великих міст, користувачами об'єктів капіталь-

© Верхоглядова Н. І., Левчинський Д. Л., 2010

них вкладень можуть бути інвестори та міська влада (мерія) відповідно до часток, визначених при реалізації інвестиційних конкурсів.

Суб'єкт інвестиційної діяльності вправі сполучати функції двох і більше суб'єктів, якщо інше не встановлено договором і (або) державним контрактом, що містяться між ними.

З огляду на специфіку реалізації інвестиційних проектів у великих містах, основними принципами інвестиційної діяльності при комплексній реконструкції їхніх територій є:

1) інтереси міста при здійсненні інвестиційної діяльності повинні бути спрямовані на одержання максимальної кількості житлових приміщень належної якості та за встановленими нормами та за результатами реалізації інвестиційних проектів.

2) ринкова вартість частки міста в кінцевому інвестиційному об'єкті повинна бути не менше ринкової вартості залучених в господарський оборот земельної ділянки та об'єктів, що перебувають на ньому, нерухомості, що підлягають реконструкції.

3) частка інвестора в кінцевому інвестиційному об'єкті повинна забезпечувати нормальну окупність вкладених коштів і одержання інвестором прибутку, що відповідає середньоринковому значенню даного показника в регіоні.

4) мета інвестиційної діяльності полягає в реалізації міських потреб. Вибір інвестора повинен провадитися на конкурсній основі. У цей час відносини, пов'язані з розміщенням замовлень на поставки товарів, виконання робіт, надання послуг для міських потреб регулюються ЗУ «Про інвестиційну діяльність» ст. 26, гл. 6.

5) Оцінка ефективності інвестиційних проектів повинна провадитися як для міста , так і для інвестора.

Внеском в інвестиційний проект із боку інвестора є власні та/або залучені засоби, що направляються на створення інвестиційного об'єкту.

Внеском міської влади є земельні ділянки, що залучаються в господарський оборот, (об'єкти нерухомості), що перебувають у державній власності.

6) інвестиційна діяльність у великих містах повинна плануватися відповідними структурами міста. Вибір об'єктів н рухомості під реконструкцію повинен ґрунтуватися на визначенні пріоритетності їхнього залучення.

7) для здійснення інвестиційної діяльності у великому місті необхідно в складі системи керування державним житловим фондом міста створити систему керування інвестиційною діяльністю.

Порядок планування і організації інвестиційної діяльності по комплексній реконструкції територій великих міст повинен складатися з наступних етапів:

а) оформлення правовстановлюючих документів на земельні ділянки та об'єкти нерухомості, що підлягають комплексній реконструкції;

б) облік земельних ділянок і об'єктів нерухомості, що підлягають комплексній реконструкції, і їхніх основних характеристик в автоматизованій базі даних;

в) попередній аналіз реалізованості та ефективності залучення в комплексну реконструкцію земельних ділянок і об'єктів нерухомості (державних об'єктів нерухомості). На даному етапі повинна відбуватися оцінка реалізованості залучення в комплексну реконструкцію врахованих у базі даних об'єктів нерухомості, як для міста, так і для потенційних інвесторів. Ефективність для інвесторів визначається виходячи із цілей інвестиційного проекту – строки окупності та одержання максимального прибутку від вкладених коштів, для міської влади – одержання максимальної кількості житлових приміщень у результаті реалізації інвестиційних проектів. Після проведення розрахунків ефективності за всіма державними об'єктами визначається пріоритетність їхнього залучення в процес реконструкції. Для цього необхідна система критеріїв, що дозволяє враховувати як економічну складову інвестиційних проектів, так і обґрунтованість залучення міських об'єктів нерухомості в комплексну реконструкцію з погляду створення необхідної міської інфраструктури.

г) підготовка Переліку об'єктів нерухомого майна і земельних ділянок, що підлягають комплексної реконструкції на інвестиційно-конкурсній основі. Для підвищення обґрунтованості Переліку міських об'єктів необхідно розробити методи планування та організації інвестиційної діяльності, які можна було б використовувати для попереднього аналізу реалізованості та ефективності залучення в комплексну реконструкцію державних об'єктів нерухомості. Зокрема, необхідна розробка нормативно-методичного апарата для:

- оцінки реалізованості інвестиційних проектів по комплексній реконструкції територій великих міст;

- розрахунку величини та форми одержання мерією частки в інвестиційному об'єкті (включаючи об'єкти міської інфраструктури);

- оцінки пріоритетності міських об'єктів нерухомості при включенні їх у плани інвести-

ційної діяльності з комплексної реконструкції територій великих міст;

д) оформлення пакета документації для проведення інвестиційних конкурсів;

е) проведення інвестиційних конкурсів і визначення їхніх переможців;

ж) висновок інвестиційних контрактів з переможцями інвестиційних конкурсів. Порядок висновку контрактів регламентований ст. 18 ЗУ «Про інвестиційну діяльність»;

з) реалізація інвестиційного проекту (стадія створення інвестиційного об'єкту та здача в експлуатацію). Дана стадія займає в основному 2...3 роки та залежить від типів реконструйованих об'єктів у рамках інвестиційних проектів. В інвестиційному контракті повинні бути передбачені обов'язки інвестора по щоквартальному передбачені обов'язки інвестора по щоквартальному наданню відомостей замовникові про хід реалізації інвестиційного проекту із вказівкою видів виконаних робіт і їхньої загальної вартості, проміжних актів про реалізацію етапів інвестиційного контракту;

і) закріплення прав міської власності на частку міста в кінцевому інвестиційному об'єкті. Акти про реалізацію інвестиційного контракту та розподіл часток у зведених інвестиційних об'єктах, а також акти прийому-передачі інвестором замовникові житлових приміщень узгоджуються з мерією та набувають чинності з дати такого узгодження.

Обов'язки по здійсненню процедур обліку державного майна та реєстрації прав на нерухоме майно покладають на замовника будівництва або на майбутнього правовласника інвестиційного об'єкта (частки інвестиційного об'єкта) і відображаються у відповідному договорі (на реконструкцію, будівництво, придбання житла), стороною якого повинен бути майбутній правовласник.

Планування інвестиційної діяльності на державному рівні в цей час полягає в багатоступінчастому доведенні до замовників на місцях сформованих на верхньому рівні керування контрольних цифр. При існуючих ринкових умовах кожний планований захід необхідно починати з докладного аналізу його ідеї, з оцінки його розумності, перспективності та результативності.

Сукупність наукових і нормативно-методичних розробок як планового, так і ринкового періодів у нашій країні свідчать про те, що такий аналіз і оцінка здійснюються при визначенні економічної ефективності. Однак при комплексній реконструкції територій великих міст визначати економічну ефективність інвестиційної діяльності необхідно як з урахуванням комерційної складової, що є основою для можливості залучення приватних інвесторів, так і з урахуванням соціальної складової, оскільки дані проекти несуть у собі також соціальні функції по розвитку міста й міської інфраструктури.

Внаслідок цього виникає необхідність врахування інтересів взаємодіючих протягом всіх стадій реалізації інвестиційних проектів учасників: інвесторів і замовників в особі відповідних структур міста, органів виконавчої влади та місцевого самоврядування.

З огляду на соціальну спрямованість основної мети реалізації інвестиційних проектів – одержання житлових приміщень і комплексної облаштованості території – виникає необхідність в ув'язуванні інтересів мерії з можливостями потенційних інвесторів. Отже, критерії оцінки пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію житлових об'єктів нерухомості повинні, у першу чергу, враховувати міські інтереси та мету потенційних інвесторів.

Слід зазначити, що регіональні органи виконавчої влади в деяких випадках можуть докорінно змінити ситуацію. Наприклад, відповідно до закону України «Про охорону навколишнього середовища» (Відомості Верховної Ради України, 1991, № 41, ст. 546) органи влади суб'єктів України у сфері відносин, пов'язаних з охороною навколишнього середовища, мають право на здійснення державного контролю в області охорони навколишнього середовища (державного екологічного контролю) на об'єктах господарської та іншої діяльності незалежно від форм власності, що перебувають на території суб'єкта України.

Наступним досить важливим моментом в оцінці пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію житлових об'єктів нерухомості є той факт, що визначення пріоритетних завдань є одним із принципів програмно-цільового планування. Науковою основою такого планування є системний підхід, один з напрямків якого розглядається як розширення й узагальнення теорії управління. В даному напрямку, як правило, використовуються математичні моделі з наявністю декількох критеріїв для оцінки аналізованих рішень. Це пов'язано з тим, що практично будь-яке реальне завдання характеризується більш ніж одним критерієм, внаслідок чого виникає необхідність оцінювати альтернативні рішення за наявності декількох критеріїв.

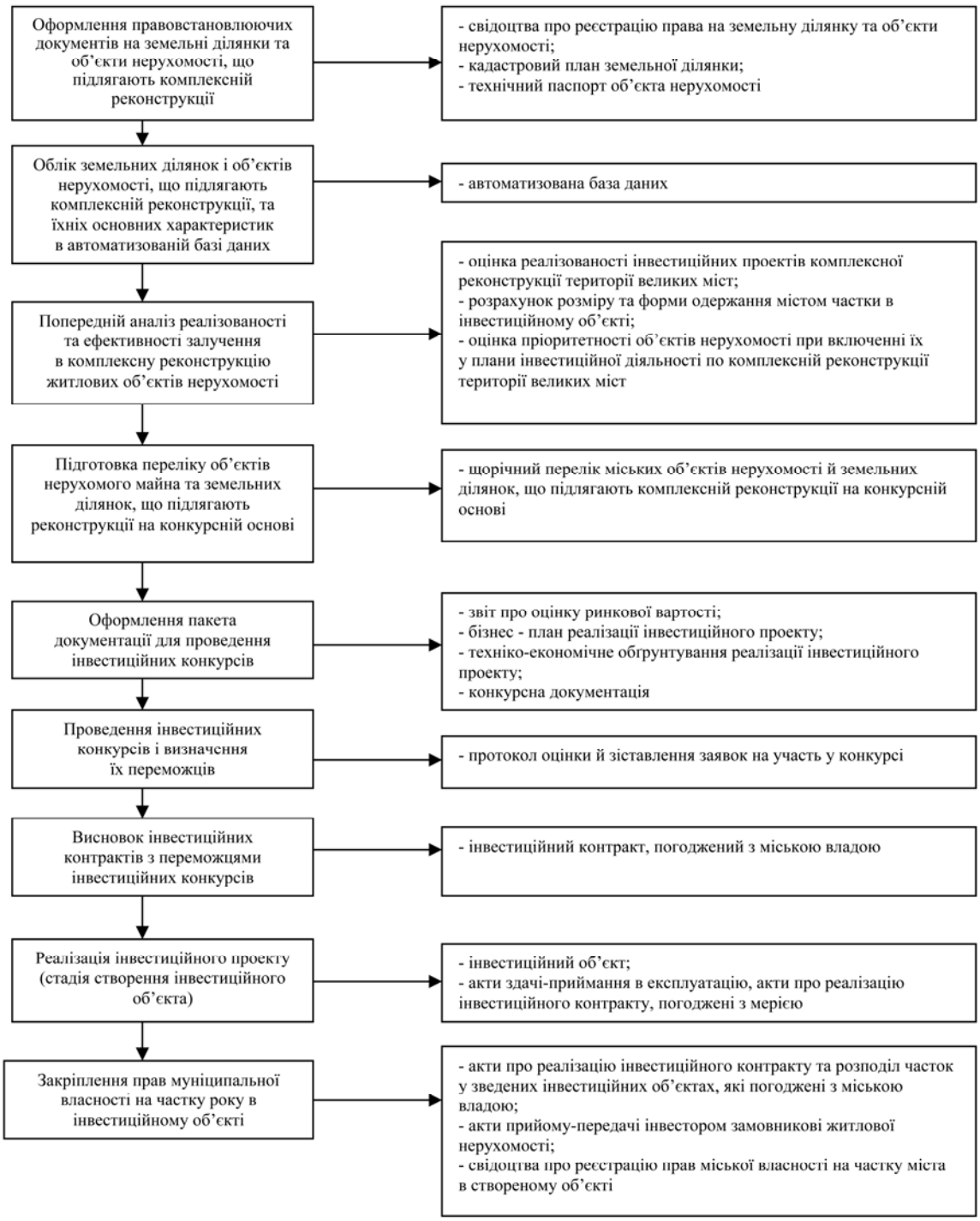


Рис. 1. Узагальнена схема планування та організації інвестиційної діяльності з комплексної реконструкції територій великих міст

Виходячи зі сформованих у цей час взаємин між основними учасниками інвестиційної діяльності, до яких відносяться замовники інвестиційних проектів і потенційні інвестори, кінцевою метою залучення в комплексну реконструкцію об'єктів нерухомості є виконання плану по створенню міського житлового фонду й відповідних об'єктів міської інфраструктури. Таке трактування не повною мірою відповідає змісту програмно-цільового планування, у рамках якого метою реконструкції об'єктів є одержання не тільки якогось кількісного результату, але й необхідних індивідуальних споживчих властивостей інвестиційних об'єктів, які реконструюються, для їхніх користувачів (інвесторів і міської влади).

У цей час у системі управління інвестиційною діяльністю великого міста інформація про ці властивості через замовників будівництва повинна надходити у відповідний обліковий

орган міста (комітет), де вона узагальнюється за кількісними критеріями й виражається системою показників, що мають, як правило, валовий характер. Наприклад, одними з основних показників діяльності замовників є кількість отриманих квартир, або кв. м. житла за рахунок всіх джерел фінансування.

Таким чином, при валовому характері показників інвестиційної діяльності зникає індивідуальність потреб користувачів (інвесторів і міста), та й самих інвестиційних об'єктів, що зводяться. У той же час містобудівні проекти, у розглянутому випадку це проекти планування кварталів, забудованих, в тому числі, і старою забудовою, мають досить розвинену систему техніко-економічних показників, що дозволяє комплексно оцінити кожний індивідуальний проект планування.

Отже, при оцінці пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію об'єктів нерухомості виникає необхідність у наявності критеріїв, що дозволяють проаналізувати доцільність зведення й експлуатації даних об'єктів з урахуванням їх споживчих і техніко-економічних властивостей.

Наступним немаловажним фактором при виборі критеріїв для оцінки пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію об'єктів нерухомості є те, що схема управління житловим фондом і інвестиційною діяльністю в великих містах припускає взаємодію всіх елементів організаційної структури відповідного ієрархічного рівня. Виходячи з цього, критерії оцінки пріоритетності, які відображають цілі й завдання, названих вище учасників інвестиційної діяльності, також підлягають структуруванню в ієрархічну сукупність.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна сформулювати основні вимоги, пропоновані до критеріїв оцінки пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію міських об'єктів нерухомості. Дані вимоги полягають в тім, що критерії повинні дозволяти:

- якомога повніше враховувати мету учасників інвестиційної діяльності та індивідуальність створюваних інвестиційних об'єктів;
- оцінювати доцільність комплексної реконструкції житлових об'єктів з урахуванням існуючої кон'юнктури ринку нерухомості;
- за своїм складом і змістом формувати з них упорядковану сукупність ієрархічного типу.

Аналіз методичних розробок дозволив виділити однорідні групи із сукупності основних видів критеріїв, використовуваних у цей час для оцінки ефективності та відбору інвестиційних проектів (табл. 1).

Таблиця 1

Критерії для оцінки ефективності та відбору інвестиційних проектів

Групи критеріїв	Зміст групи критеріїв
1	*2*
Суспільна значимість	реалізація проекту істотно впливає на економічну, соціальну або екологічну ситуацію в місті
	реалізація проекту не надає істотного впливу на економічну, соціальну та екологічну ситуацію, не змінюючи рівень і структуру цін на товарних ринках
Ефективність проекту в цілому	соціально-економічна ефективність проекту
	вплив на соціальну сферу
	вплив на екологічну сферу
	результати і витрати проекту
	комерційна ефективність проекту
	чистий дохід
	чистий дисконтований дохід
	внутрішня норма доходності
	потреба в додатковому фінансуванні
	індекси прибутковості витрат і інвестицій
	строк окупності
	група показників, що характеризують фінансовий стан підприємства-учасника проекту
Фінансова реалізованість	забезпечення структури грошових потоків, при якій на кожному кроці розрахунку є достатня кількість грошей для здійснення проекту
Критерії невизначеності та ризику	стійкість інвестиційного проекту в цілому
	стійкість інвестиційного проекту для учасників
	границі беззбитковості
	облік упущеної вигоди від альтернативного використання майна

Таблиця 1 (закінчення)

1	*2*
Критерії реципієнту, що реалізує проект	навики керування та досвід підприємців, компетентність керівного персоналу
	стратегія в області маркетингу, наявність досвіду та дані про обсяг операцій на зовнішньому ринку
	дані про фінансову спроможність, стабільність
Науково-технічні та комерційні критерії	перспективність науково-технічних рішень, що використовуються
	перспективність застосування отриманих результатів у майбутніх розробках
	розмір інвестицій, стартові витрати на здійснення проекту
	потенційний річний розмір прибутку
	очікувана норма чистого дисконтованого прибутку
	значення внутрішньої норми доходу, яка задовольняє інвестора
	відповідність проекту критеріям економічної ефективності капітальних вкладень
	строк окупності та сальдо реальних грошових потоків
	стабільність надходження доходів від проекту
	можливість використання податкових пільг
	оцінка періоду втримання на ринку, імовірний обсяг продажів за роками
	необхідність залучення позикового капіталу (третіх осіб або банківського) і його частка в інвестиціях
	фінансовий ризик, зв'язаний зі здійсненням проекту
Виробничі критерії	необхідність технологічних нововведень для здійснення проекту
Виробничі критерії	наявність виробничого персоналу (за чисельністю та кваліфікацією)
	потреби в додаткових виробничих потужностях
Критерії, які відповідають проекту до ринкових умов	відповідність проекту потребам ринку
	оцінка загальної місткості ринку до моменту виходу передбачуваної продукції на ринок
	еластичність ціни на продукцію
	необхідність маркетингових досліджень та реклами для просування пропонованого проекту на ринок
	відповідність проекту існуючим каналам збуту
	оцінка очікуваного характеру конкуренції та її вплив на ціну продукту
Критерії регіональних особливостей реалізації проекту	відповідність проекту регіональним правовим актам
	ресурсні можливості регіону
	стан інфраструктури регіону

Виходячи з можливої ієрархії формованої організаційної структури системи управління житловим фондом і інвестиційною діяльністю великого міста; можливостей збору відповідної інформації про об'єкти нерухомості, що підлягають реконструкції; а також сформульованих вище основних вимог до критеріїв, представляється можливим доповнити склад критеріїв попередньої таблиці критеріями для оцінки пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію міських об'єктів нерухомості:

1) на рівні місцевого самоврядування великого міста або міста в цілому:

- площа ліквідованого аварійного і старого фонду, будинків і споруджень, що не використані; земельних ділянок;
- якість оформлення правовстановлюючих документів на міські земельні ділянки й об'єкти нерухомості, передбачувані до залучення в комплексну реконструкцію;
- вплив особливостей місцевого містобудівного законодавства на можливість здійснення та реалізацію інвестиційних проектів;
- негативний вплив природно-кліматичних і техногенних факторів;
- рівень будівельної готовності (при залученні об'єктів, незавершених будівництвом);
- розвиненість матеріально-виробничої бази.

2) на рівні місцевого самоврядування міста:

- загальна площа житлових приміщень (квартир), одержувана за рахунок залучення в комплексну реконструкцію об'єктів нерухомості;

- орієнтовний строк одержання частки міста в інвестиційному об'єкті;

- можлива прибутковість інвестиційного проекту для потенційних інвесторів;

- розмір частки міста в інвестиційному об'єкті.

Висновки

1. Інвестиційна діяльність по комплексній реконструкції територій великих міст ґрунтується на чинному законодавстві від інвестиційної діяльності в Україні здійснюваної у формі капітальних вкладень. Отже, не важко визначити об'єкти та суб'єкти інвестиційної діяльності по комплексній реконструкції.

2. З огляду на специфіку реалізації інвестиційних проектів у великих містах, основними принципами інвестиційної діяльності при комплексній реконструкції їхніх територій є:

- інтереси міста при здійсненні інвестиційної діяльності полягають в одержанні максимальної кількості житлових приміщень належної якості за соціальними нормами у результаті реалізації інвестиційного проекту;

- ринкова вартість частки міста в інвестиційному об'єкті повинна бути не менше ринкової вартості, що залучається в господарський оборот земельної ділянки та об'єктів, що перебувають на ньому, нерухомість, що підлягає реконструкції;

- частка інвестора в інвестиційному об'єкті повинна забезпечувати одержання інвестором прибутку від вкладених коштів, що відповідає середньо ринковому значенню даного показника в містах у встановлений термін окупності;

- тому що реалізація інвестиційних проектів припускає придбання об'єктів нерухомості в міську власність, а ціль інвестиційної діяльності полягає в реалізації потреб, то вибір інвестора повинен провадитися на конкурсній основі;

- оцінка ефективності інвестиційних проектів повинна провадитися як для міста, так і для інвестора;

- інвестиційна діяльність у великих містах повинна плануватися відповідними структурами, вибір об'єктів нерухомості під реконструкцію повинен ґрунтуватися на визначенні пріоритетності їхнього залучення;

- для здійснення інвестиційної діяльності у великому місті повинна бути створена система управління інвестиційною діяльністю як капітальними вкладеннями. Отже, не важко визначити об'єкти та суб'єкти інвестиційної діяльності по комплексній реконструкції.

3. Планування інвестиційної діяльності по комплексної реконструкції територій великих міст повинне відбуватися шляхом розробки Переліку об'єктів нерухомого майна та земельних ділянок, підлягаючих комплексній реконструкції за інвестиційно-комплексною основою.

Включення інвестиційних об'єктів у зазначений перелік повинні відбуватися на основі:

- оцінки реалізованості та ефективності інвестиційних проектів по комплексній реконструкції територій великих міст;

- розрахунку оптимального розміру та форми одержання містом частки в кінцевому інвестиційному об'єкті;

- оцінки пріоритетності об'єктів нерухомості при включенні їх у плани інвестиційної діяльності по комплексній реконструкції територій більших міст.

4. Виходячи з аналізу нормативно-методичної літератури по відбору та оцінці ефективності інвестиційних проектів визначено склад критеріїв для оцінки пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію об'єктів нерухомості, які можуть бути структуровані за рівнями управління житловим фондом у великих містах.

5. Найкращим для оцінки пріоритетності залучення в комплексну реконструкцію об'єктів нерухомості є метод аналізу ієрархій - як один з багатокритеріальних методів теорії прийняття рішень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про інвестиційну діяльність», ст. 646 [Текст] // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 47.
2. Закон України «Про житлово-комунальні послуги», ст. 514 [Текст] // Відомості Верховної Ради України. – 2004. – № 47.
3. Пересада, А. А. Основы инвестиционной деятельности [Текст] / А. А. Пересада. – К.: Либра, 1996.
4. Пересада, А. А. Інвестиційний процес в Україні [Текст] / А. А. Пересада. – К.: Лібра, 1998.
5. Барановський, О. І. Інвестиційна безпека [Текст] / О. І. Барановський // Фінанси України. – 1998. – № 7.
6. Карандакова, І. Оцінка інвестиційного клімату в Україні та напрямки його покращення [Текст] / І. Карандакова // «Економіка. Фінанси. Право». – 1999. – № 1.
7. Доленко, Г. О. Основи інвестиційного менеджменту [Текст] : метод. рекомендації з курсу «Менеджерські системи» / Г. О. Доленко, В. А. Заславський, О. О. Тимашов. – К. :КНУ ім. Т. Г. Шевченка, 2001.
8. Аналіз і розробка інвестиційних проектів [Текст] : навч. посібник / І. І. Цигилик [та ін.]. – К.: Центр навчальної літ-ри, 2005. – 160 с.

Надійшла до редколегії 14.01.2010.
Прийнята до друку 25.02.2010.

УДК 330.567.28 : 658.15

В. О. ГНЕУШЕВА (Класичний приватний університет, Запоріжжя)

ДОМОГОСПОДАРСТВО ЯК СУБ'ЄКТ ФІНАНСОВИХ ВІДНОСИН

Розглянуто домогосподарства як окрему сферу фінансової системи України, що здійснюють активний вплив на розвиток вітчизняної економіки. Показано основні функції домогосподарства в ринковій економіці.

Домашние хозяйства рассмотрены как отдельная сфера финансовой системы Украины, которые осуществляют активное влияние на развитие отечественной экономики. Показаны основные функции домашних хозяйств в рыночной экономике.

Households are considered as a separate sphere of the financial system of Ukraine, which carry out active influence on the development of domestic economy. The basic functions of housekeeping in a market economy are shown.

Вступ

Розвиток ринкових відносин в Україні зумовлює актуальність досліджень домогосподарства як суб'єкта фінансових відносин. Бо домогосподарству належить особливе місце у соціально-економічному розвитку будь-якого суспільства. Тому необхідно переосмислення з боку держави проблем та потреб людини як найвищій цінності суспільства, її інтересів та свобод.

В Україні налічується приблизно 17,6 млн домогосподарств, але дослідженню економічних аспектів цих соціально-економічних утворень, останнім часом приділялося недостатньо уваги. У зоні постійної уваги з боку дослідників, науковців, практиків, політиків знаходилися проблеми бюджету, податків, фінансової кризи та інші макроекономічні питання.

В той же час обґрунтуванню ролі домогосподарства в ринкових перетвореннях, аналітичній оцінці домогосподарства як суб'єкта фінансових відносин, дослідженню впливу діяльності домогосподарств на економічні процеси у державі не приділялося належної уваги.

До найбільш відомих досліджень домогосподарств можна віднести підходи запропоновані в середині XX століття у рамках «нової економіки домогосподарства» (Г. Беккер, Дж. Мінсер, К. Ланкастер, Т. Шульц) та на початку 90-х років XX століття – у рамках трансакційного підходу (Р. Поллак, Е. Гідденс, Дж. Ходжсон).

Постановка завдання

Метою статті є осмислення функцій, місця та ролі домогосподарств у фінансовій системі, обґрунтування необхідності застосування принципово нових методів економічного аналізу до домогосподарства як найважливішого суб'єкту економіки, виявлення особливостей становлення і функціонування та перспектив розвитку в умовах ринкової економіки.

Результати

Домогосподарству, як одному з суб'єктів фінансових відносин, належить надзвичайно важлива роль у системі економічних відносин. В Україні з розвитком ринкових відносин домогосподарство опинилося в нових умовах функціонування.

По-перше, задоволення потреб домогосподарства у матеріальних та нематеріальних благах виступає природною метою виробництва. Попит домогосподарства є одним з найвагоміших компонентів сукупного попиту на кінцеві блага. По-друге, домогосподарства як власники виробничих факторів передають її діловим одиницям (підприємствам), які мають здійснювати їхне ефективне поєднання. По-третє, частина доходу, що не використовується домогосподарством впродовж поточного періоду, перетворюється на заощадження і може за певних обставин стати джерелом економічного зростання країни.

Однією з важливих проблем, що постали перед державою в умовах трансформації перетворень, є необхідність перегляду та зміни підходів щодо взаємодії держави і громадян. Саме відносини людини і суспільства визначають ступінь розвитку держави, рівень її демократизації та добробуту, оскільки розвиток людини як економічного суб'єкта зумовлюється еволюцією всієї економічної та фінансової теорії, а розвиток цивілізації є розвитком людини та її потреб.

Домогосподарство є унікальним соціально-економічним утворенням, основою життєдіяльності будь-якого суспільства. У ньому концентруються всі аспекти людського життя: біологічні, соціальні, економічні; а особливо завжди було, є та залишається сім'я – засноване на шлюбі і кровному зв'язку об'єднання людей,

© Гнеушева В. О., 2010

пов'язаних спільністю побуту і взаємною відповідальністю. Принципова відмінність між поняттями «домогосподарство» і «сім'я» полягає в тому, що домогосподарство ширше за своїм складом за рахунок осіб, які ведуть загальне із сім'єю домашнє господарство, але не пов'язані з членами сім'ї відносинами спорідненості.

Але у науковій літературі зустрічаються й інші визначення домогосподарств. Так, найбільш вживане таке: домогосподарство – це сукупність фізичних одиниць-резидентів, що мають спільні економічні інтереси, функції, поведінку і джерела фінансування.

При проведенні Всеукраїнського перепису Державним комітетом статистики України (Класифікація інституційних секторів економіки України (розд. 2) від 18.04.2005 № 96) використовувалось визначення домогосподарства як сукупності осіб (або однієї особи), які спільно проживають в одному житловому приміщенні або його частині, забезпечують себе всім необхідним для життя, ведуть спільне господарство (мають спільні витрати на утримання житла, харчування тощо), повністю або частково об'єднують та витрачають кошти. Ці особи можуть перебувати у родинних стосунках або стосунках свояцтва, не перебувати у будь-яких з цих стосунків, або бути і в тих, і в інших стосунках.

З погляду системи національних рахунків, домогосподарства є одним із п'яти інституційних секторів національної економіки (поряд з нефінансовими та фінансовими корпораціями, сектором загального державного управління та некомерційними організаціями). Система національних рахунків дає визначення домогосподарства як невеликої групи людей, що проживають в одному помешканні, повністю або частково об'єднують свої доходи і майно, спільно споживають певні види товарів і послуг. Загальним у всіх цих визначеннях є спільне проживання та спільний побут. Спільне проживання і ведення побуту передбачають спільні витрати, тобто члени домогосподарства повинні мати спільний бюджет для задоволення своїх потреб (при цьому наявність споріднення або свояцтва не передбачається).

Сектор домашніх господарств у рамках його економічної діяльності поділяють на підсектори: наймані працівники; роботодавці; самостійно зайняті працівники; отримувачі доходу від власності та трансфертів.

Згідно з аналізом моделі кругообігу домогосподарство можна визначити як економічну одиницю, яка складається з однієї або кількох осіб, постачає економіку ресурсами і використовує отримані кошти для задоволення матеріальних та інших потреб.

Отже, домогосподарство – це економічна одиниця, що складається з одного та більше чоловік, які ведуть спільне господарство, що забезпечує економіку факторами виробництва і використовує зароблені на цьому кошти для поточного споживання товарів та послуг і заощадження з метою задоволення своїх потреб.

З огляду на те, що у сім'ях живе близько 85 % людей і домогосподарство, на відміну від сім'ї, може складатися з однієї особи, можна погодитися з тим, що у домогосподарствах проживає фактично все населення країни [1, с. 67].

В Україні налічується близько 17,5 млн домогосподарств, з яких більше 12 млн (понад дві третини) проживає у містах, 5,5 млн – у сільській місцевості. Цікавим є той факт, що, незважаючи на тривалий процес скорочення чисельності населення в Україні, кількість домашніх господарств збільшується. Ймовірно, це відображає тенденції до відокремлення молодих сімей, зростання кількості розлучень і, як наслідок, зменшення кількості осіб в одному домогосподарстві.

Роль домогосподарств в економіці України важко переоцінити. Скажімо, частка домогосподарств у виробництві продукції сільського та лісового господарства становить понад 60 %, торгівлі – 15 %, будівництва – 10 %, рибальства – 6 %. Частка домогосподарств у кінцевому використанні валового внутрішнього продукту становить близько 55 % .

Основна характеристика сектору домогосподарств, в умовах ринкової економіки, полягає в тому, що цей сектор є основним споживачем ринкових та неринкових продуктів і послуг, а також власником факторів виробництва (земля, праця, капітал). Він формує пропозицію робочої сили і попит на матеріальні блага та послуги, в обмін отримує дохід, одна частина якого споживається ,а інша зберігається у формі заощаджень або може бути використана як інвестиції.

Загалом фахівці виокремлюють чотири основні функції домогосподарств:

1) постачальницьку, яка полягає у постачанні на відповідні ринки праці, капіталу та інших ресурсів;

2) виробничу, суть якої полягає у виробництві готової продукції та наданні послуг, забезпеченні ними ринку (сільськогосподарська продукція, ремонтні, ремісничі та інші послуги, сімейний бізнес);

3) споживчу, що зумовлена самою приро-

дою домогосподарства, яке є основним споживачем товарів і послуг на ринку;

4) заощаджувальну (інвестиційну), яка має місце за умови неповного використання поточних доходів на споживання [2, с. 98].

Домогосподарство як специфічний суб'єкт господарювання має відповідну мету, яка за своєю значимістю поділяється на головну (стратегічну) і проміжну, підпорядковану головній (тактичну). Загальна мета ведення домогосподарства – досягнення високого рівня облаштування домашнього побуту і підвищення матеріального достатку. Інші цілі домогосподарства можуть відрізнятися залежно від ціннісних орієнтацій, ресурсів і можливостей сім'ї. Головною метою домогосподарства можуть бути: розвиток будь-якого виду домогосподарської діяльності, організація індивідуального підприємництва, накопичення сімейних заощаджень, будівництво житла, купівля автотранспорту тощо. При цьому проміжна (тактична) мета ставиться задля досягненню головної (стратегічної).

Основними завданнями домогосподарств в умовах ринкової економіки є такі: прогнозування на близьку та віддалену перспективи змін у потребах з урахуванням демографічних зрушень у складі сімей та домогосподарств; прогнозування змін у бюджеті домогосподарства; планування діяльності членів домогосподарства; планування і контроль за змінами у сімейному бюджеті; відстежування економічної кон'юнктури у змінному навколишньому економічному середовищі; ведення обліку доходів і витрат.

У сучасних умовах розвитку вітчизняної економіки домогосподарств, як економічних одиниць господарювання стає дедалі вагомішим суб'єктом фінансових відносин, взаємодіючи з державою, підприємствами і організаціями, а також інститутами фінансового ринку. Взаємозв'язок фінансів домогосподарств з державними фінансами виявляється перш за все у сплаті податків фізичними особами до бюджету та державних цільових фондів, а також у формі: грошових виплат (пенсії, допомоги, фінансування послуг і пільг), що здійснюються з бюджету і відповідних фондів. Взаємозв'язок фінансів суб'єктів господарювання і домогосподарств реалізується з використанням цінних паперів як джерела фінансування розвитку підприємств. Однак невиплата дивідендів, яка уже стала звичною практикою останніх років в Україні, блокує участь домогосподарств в інвестиційному процесі і нівелює це джерело поповнення сімейного бюджету. Вплив фінансів домогосподарств на страхування в межах фінансової системи України характеризується великою часткою обов'язкового страхування і надзвичайно малою часткою добровільного страхування, а також низьким рівнем страхових премій і відшкодувань у бюджеті сім'ї.

Проте незважаючи на певні проблеми у сучасних економічних реаліях та погляди окремих вчених щодо недоцільності виділення фінансів домогосподарств в окрему сферу фінансової системи України, вважаємо, що фінанси домогосподарств виступають сферою фінансової системи і здійснюють активний вплив на розвиток вітчизняної економіки. Бо сучасний розвиток, що відбувається в Україні, характеризуються докорінною зміною ролі людини у суспільстві, суттєво розширює «людський» аспект фінансової науки і практики, зумовлює необхідність перегляду всіх теоретичних уявлень про людину як громадянина, платника податків, отримувача суспільних благ та основної мети існування держави

Таке розуміння перебігу цих процесів обумовлює необхідність виділення в окрему сферу фінансової системи фінансів домогосподарств, що пояснюється їх всезростаючою роллю і соціальним значенням у сучасних умовах.

Безумовно, фінанси домогосподарств – один із важливих елементів фінансової системи, оскільки формування і використання фінансових ресурсів населення безпосередньо пов'язане з розвитком інших складових фінансової системи (державних фінансів, фінансів підприємств і установ), розвитком банківської системи, страхування. Фінанси домогосподарств відіграють у такій системі провідну роль, тому що розвиток суспільства в цілому багато в чому підпорядкований забезпеченню інтересів громадян, їх груп та об'єднань.

Фінанси домогосподарств в умовах розвинутих ринкових відносин беруть участь у кругообігу капіталу та охоплюють частину усіх стадій процесу відтворення: процесу виробництва, процесу розподілу, процесу обміну та використання. І поряд з фінансами підприємств і організацій, фінанси домогосподарств у сучасних умовах вітчизняної економіки є важливою сферою фінансової системи і відіграють найважливішою роль у загальній сукупності фінансових відносин.

Виникнення фінансів домогосподарств відбувається на другій стадії відтворювального процесу – стадії розподілу вартості валового внутрішнього продукту. Члени домогосподарства отримують первинні доходи у вигляді заробітної плати, доходів від здійснення підприємницької діяльності, від особистого підсобного господар-

ства, від власності. Участь домогосподарств у вторинному розподілі (перерозподілі) валового внутрішнього продукту і національного доходу реалізується при сплаті членами домогосподарств податків та інших обов'язкових платежів, завдяки чому вони набувають права отримувати вторинні доходи у вигляді пенсій, стипендій, допомог, інших трансфертних платежів.

Домогосподарства підтримують численні й різноманітні фінансові зв'язки з усіма секторами економіки, тому аналіз фінансового стану домогосподарств неможливо здійснювати ізольовано від фінансів інших секторів економіки, особливо від фінансів держави [3, с. 67].

Отже, фінанси домогосподарств – сукупність економічних відносин, що виникають при утворенні, розподілі та використанні грошових доходів, заощаджень і грошових фондів громадян та їх сімей з метою задоволення особистих потреб домогосподарств.

Фінанси домогосподарств функціонують у грошовій формі, тому що грошові доходи у вигляді заробітної плати, пенсій та допомог, а також натуральні доходи оцінюються у національній грошовій одиниці. Оскільки розподіл та використання доходів домогосподарств здійснюються у грошовій формі з використанням фондів грошових коштів, то фінанси домогосподарств мають всі ознаки фінансових відносин.

Соціально-економічна сутність фінансів домогосподарств виявляється через розподільну, регулюючу, контрольну та інвестиційну функції. У більш загальному вигляді ці функції відповідають двом основним завданням: забезпеченню життєвих потреб сім'ї та розподілу.

Домогосподарство, діючи як мікросистема всередині економічної системи держави, зіставляє безліч власних індивідуальних рішень із загальними потребами, тому за таких умов особливо важливі кількісна та якісна оцінки наявних у розпорядженні домогосподарства фінансових ресурсів, що є визначальною складовою його автономії.

Фінансові ресурси домогосподарства – грошові кошти (власні і залучені, що перебувають у його розпорядженні та призначені для виконання фінансових зобов'язань і здійснення різного роду витрат (виробничих і споживчих)). Вони включають грошові доходи, вартість продукції з особистого підсобного господарства, пільги та субсидії, а також інші надходження.

Аналіз світового досвіду доводить, що практично в усіх розвинутих країнах держава бере активну участь у формуванні та розвитку підприємництва та сімейного бізнесу, підтримці найбільш доцільних і ефективних його напрямів. Навіть у країнах з віковими традиціями приватного підприємництва ця форма бізнесу потребує підтримки і сприяння з боку держави. В Україні на шляху розвитку вітчизняного підприємництва постають численні проблеми, зумовлені об'єктивними чинниками та суб'єктивними соціально-психологічними факторами. Їх вирішення на сучасному етапі розвитку вітчизняної економіки потребує посилення уваги держави до розвитку підприємницької діяльності, насамперед малого бізнесу, формування відповідної державної політики у цій сфері.

Висновок

Фінанси домогосподарств виконують надзвичайно важливу роль як у функціонуванні фінансової системи, так і суспільства загалом. Фінанси домогосподарств забезпечують стабільність споживання у межах суспільства, а також домагаються зберегти рівень належних їм доходів через здійснення будь-якого виду господарської, інвестиційної, фінансової та іншої діяльності. А через це сприяють активізації реформування вітчизняної економіки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Горбачик, А. Сприйняття економічних змін і стратегії виживання домогосподарств [Текст] / А. Горбачик // Соціологія: теорія, методи, маркетинг. – 2001. – № 4. – С. 65-69.
2. Горбачик, А. Сприйняття економічних змін і стратегій виживання домогосподарств [Текст] / А. Горбачик // Соціологія: теорія, методи, маркетинг. – 2010. – № 4. – С. 97-103.
3. Микитенко, І. Формування сукупних доходів і витрат у домогосподарствах [Текст] / І. Микитенко // Економіка АПК. – 2002. – № 6. – С. 65-71.
4. Витрати і доходи домогосподарств України у 2006 році [Текст] / Державний комітет статистики України. - К., 2007. – 126 с.
5. Гордієнко, Л. А. Проблеми формування фінансів домогосподарств [Текст] / Л. А. Гордієнко // Теорія і практика сучасної економіки. – Черкаси, 2003. – С. 543-546.
6. Ковалюк, О. М. Сімейні господарства України: принципи, механізми, перспективи [Текст] : навч. посіб. / О. М. Ковалюк, Г. А. Лех, С. К. Реверчук; за ред. С. К. Реверчук. – К.: Атака, 2000. – 173 с.
7. Ходжаян, А. О. Доходи домогосподарств та населення як фактор і передумова забезпечення сталого економічного зростання [Текст] / А. О. Ходжаян // Теорія і практика сучасної економіки. – Черкаси, 2004. – С. 62-64.

Надійшла до редколегії 09.06.2010.
Прийнята до друку 16.06.2010.

УДК 336.71

Д. О. ДИЛ (ДІІТ)

КОМЕРЦІЙНИЙ БАНК ЯК МЕРЕЖНЕ ПІДПРИЄМСТВО

У статті досліджуються проблеми організації сучасних підприємств як мережних структур, що відповідає наростаючим процесам глобалізації та посиленням постіндустріальних тенденцій. Дано визначення поняття «мережа комерційного банку» та основні характеристики цієї дефініції.

В статье исследуются проблемы организации современных предприятий как сетевых структур, которые соответствуют возрастающим процессам экономической глобализации и усилением постиндустриальных тенденций. Дано определение понятия «сеть коммерческого банка», а также характеристика этой дефиниции.

The article examines the problems of the modern enterprise as a network structure that meets the increasing processes of globalization and the rise of postmodern trends. The definition of the term «a network of commercial bank» and the main characteristics of such a definition are given.

За останнє десятиріччя відбулися значні зміни у структурі світового фінансового ринку, що привели до виникнення структури нового типу - мережної, якій властива своя логіка розвитку і свої проблеми, пов'язані з її стабільністю і прогностичністю.

Кейнсіанська модель, що була ефективною в середині XX ст., вичерпала себе в 70-ті роки XX ст., зокрема через наростання процесів економічної глобалізації та посилення постіндустріальних тенденцій. У результаті проведеної у 80-ті роки загальної реструктуризації виникла економіка нового типу, яку сьогодні називають глобальним капіталізмом. Глобальний капіталізм – це сучасний капіталізм, що розуміється як фаза в історії людства, що характеризується зміною усіх сторін життя суспільства під впливом світових тенденцій к взаємозалежності та відкритості.

Нова економіка, залишаючись за своєю природою капіталістичною, технологічно й організаційно суттєво відрізняється від кейнсіанської моделі капіталізму. Глобальний капіталізм характеризується глобальним виробництвом, обміном, перерозподілом та споживанням, що відбувається підприємствами в національних економіках, и на світовому ринку. В основу нової економіки закладено глобальну мережу фінансових потоків, а завдяки інформаційним технологіям і розвитку засобів зв'язку ця економіка діє як єдине ціле в режимі реального часу в загальносвітовому масштабі.

Роль мережних структур в організаційних системах почала вивчатися в контексті кібернетики. Сучасний підхід до цієї проблеми викладений у працях Д. Новікова. Він досліджує теоретично-ігрові моделі структурного синтезу, показав, що структура визначається типом ієрархічної ігри між учасниками системи. Такий підхід дозволяє аналізувати мережні структури, в яких потенційно існують зв'язки між усіма учасниками. При цьому деякі зв'язки актуалізуються для рішення конкретного завдання, що стоїть перед системою [7].

В економіці ідея формування мережної структури була запропонована на початку 90-х років XX ст., але набула популярності після появи праць Мануеля Кастельса, який є автором концепції мережного суспільства. Концепція М. Кастельса розширила рамки теорії постіндустріального суспільства, що відрізняється від класичного індустріального капіталізму як суспільства нового типу. Таке суспільство він називає мережним. М. Кастельс вважає, що інформація є таким ресурсом, що проникає через усякі границі та перепони. Він ототожнює інформаційну еру з епохою глобалізації, а її засобом й одночасно втіленням виступають мережні структури, які він вважає найбільш характерним явищем сучасного світу.

М. Кастельс називає п'ять принципів мережної організації:

1. Масштабованість мережі. Застосування Інтернету дозволяє включити до складу мережі стільки компонентів, скільки необхідно для здійснення кожної операції, кожної угоди або всього проекту. Тим самим мережа може розвиватися, оперативно розширюватися або скорочуватися доцільно діловій стратегії, що змінюється, без значних витрат;
2. Інтерактивність. Мережа, що реалізується з використанням інтернет-технологій, дозволяє обходитись без вертикальних каналів зв'язку та забезпечити багатоканальний обмін інформацією та спільне прийняття рішень. Результатом є покращення якості інформаційного обміну та досягнення взаєморозуміння між партнерами в процесі їх ділового співробітництва;

© Дил Д. О., 2010

3. Гнучкість управління. Можливість поєднання методів стратегічного управління з технологіями децентралізованої взаємодії множини партнерів має вирішальне значення для досягнення мережею сформульованих цілей та поставлених задач;

4. Брендінг. Для отриманні інвестицій необхідним є символ загальновизнаної здатності надавати товарам та послугам цінні якості. У світі складних мереж виробництва та дистрибуції брендінг може здійснюватися головним чином на основі управління процесом впровадження інновацій та жорстокого контролю кінцевих результатів. Ефективне використання інтернет-технологій дозволяє забезпечити зворотний зв'язок між усіма компонентами мережі та процесами виробництва/реалізації, а також виявлення та виправлення помилок;

5. Орієнтація на споживача. У теперішній час все складніше задовольняти різнопланові потреби ринку через стандартизоване масове виробництво. Оптимальне співвідношення між масовим виробництвом та виробництвом, що зорієнтоване на споживача, може бути забезпечене через використання крупно масштабної виробничої мережі, але з підгонкою кінцевого продукту, товару або послуги під кінцевого замовника. Ця задача вирішується у багатьох системах через персоналізований інтерактивний зв'язок із замовником в режимі он-лайн.

В Україні проблему формування мережних структур стосовно економіки розглядала Г. В. Назарова. Її праці присвячені дослідженню у сфері менеджменту корпоративного управління та основі системного підходу [6].

Економічний аспект виникнення та розвитку мережних організацій розглядається в роботах значної кількості західних вчених, серед яких можна назвати П. Друкера, К. Келлі, Р. Патюреля, Й. Рюег-Штюрма, М. Райсса.

Так, П. Друкер зазначав, що «теперішній період часу може бути названий глибокою трансформацією, … що знаходить своє відображення у виникненні та розвитку мережного підходу до організації та управління бізнесом. У сучасних умовах успіх досягається не тільки завдяки економії на масштабах, але й за рахунок постійного регулювання зв'язків між потребами та рішеннями, що приймаються для їх задоволення. Якщо фірма прагне зайняти гідне місце в конкуренції на глобальному ринку, вона має звикати сприймати сучасну світову економіку у вигляді мережних структур» [11, с. 56].

Й. Рюег-Штюрм під мережною організацією розумів ідеальний організаційний тип, що характеризується структурою вільно пов'язаної мережі принципово рівноправних та незалежних партнерів. Унаслідок обмеженості власних ресурсів автономні члени мережі для досягнення загальних цілей постійно застосовують політику колективного самообмеження. При цьому можуть виникати ієрархічні і демократичні форми, що функціонують на базі консенсусу протягом певного терміну [10, с. 14].

Р. Патюрель зауважував, що організація у вигляді мережі – гібридне рішення, що об'єднує три типи структур (функціональну, дивізійну, матричну), яка забезпечує більш ефективний варіант розподілу діяльності і зв'язків, а також пропорцій між автономією та контролем. Вивчення форм організації підприємств дозволяє зробити висновок про те, що поступово знаходить визнання принцип різноманіття. Пошук єдиної концепції, ідеальної структури, адаптованої до будь-якої організації заміщується використанням багатоваріантної концепції, відповідно до якої ідея оптимальної моделі повністю відсутня [8, с. 35].

Названий вище автор відзначав, що на практиці зазвичай можна спостерігати дві типові форми застосування мережного підходу [8, с. 41]:

1. Мережна структура великої компанії, яка збирає навколо себе підприємства меншого розміру та доручає їм виконання спеціальних завдань. Підприємства, у свою чергу, можуть мати власні підрозділи, необхідні для виробництва, але вони потребують досить високої спеціалізації. У цьому випадку, мережа є ієрархічною і велике підприємство займає домінуюче положення в ділових операціях, виступаючи головним замовником. Дрібні структури швидко потрапляють у залежність від більш великого партнера, що є для них небажаним. Переваги великого підприємства дозволяють йому здійснювати контроль партнера не за рахунок участі в капіталі, а за рахунок ринкового механізму. Крім цього, великі підприємства (підприємства-мережі) підбирають партнерів, що відзначаються високою гнучкістю, адаптивністю до мінливих умов, творчім потенціалом.

2. Сукупність (мережа) підприємств, що схожі за розмірами, більшість з яких є самостійними юридичними особами, підтримують стійкість один одного в господарському плані, що є дуже важливим для всіх. Подібна співдружність, що досить часто існує в межах одного регіону або в межах одного виду діяльності, підвищує конкурентоспроможність товарів та послуг. Стійкість зв'язків, що керовані декількома ключовими підприємствами, які стимулюють інноваційні та комерційні процеси, спрощує управлінські завдання дрібних та середніх підприємств – членів мережі.

Таке бачення дає більш повну уяву про форми реалізації мережного підходу, ніж визначення, запропоноване Й. Рюег-Штюрмом.

Російські вчені, серед яких Радаєв В., Кущ С., Рафінеджад Д., Афанасьєв А., Масленніков В. [3, 4], також у своїх дослідженнях вивчають цю проблематику. У своїх роботах вони розкривають теоретичні та практичні питання розвитку і формування мережних організацій.

Особливої уваги заслуговує монографія Масленнікова В. «Підприємницькі мережі в бізнесі», де російський науковець ґрунтовно визначає концепцію мережної організації бізнесу, розглядає мережний підхід у контексті створення підприємницьких мереж, проводить порівняльний аналіз і пропонує класифікацію мереж. Він визначає підприємницьку мережу, як «стратегічний союз, що налічує дві та більше компаній, які комбінують ресурси для розвитку найбільш вигідних напрямків підприємницької діяльності» [4, с. 37].

Однак у цілому проблеми формування мережної структури банківської системи та вплив формування нової структури банківського сегменту фінансового ринку на його стабільність в Україні розроблені недостатньо.

В умовах масового виробництва середини XX ст. підприємства й організації були побудовані за лінійним принципом, що передбачав пряму підпорядкованість нижчих рівнів вищому. На той час у світовій економіці переважала модель класичного капіталізму – кейнсіанська модель. Цій моделі була властива орієнтація на централізовану регуляцію процентних ставок і податків і, в цілому, на лінійну ієрархічну структуру організації, механістичну за своєю природою. На основі лінійної структури сформувалася відповідна система директивного менеджменту, названа тейлоризм або фордизм [5].

Сучасна економіка глобального капіталізму характеризується розширенням міжнародних торгових зв'язків і фінансових ринків. Хоча окремі підприємства й організації залишаються локальними дедалі більшого значення набувають так звані мережні підприємства. Цим підприємствам властива мережна структура їх організації, і як наслідок гнучкість, необхідна для адаптації до мінливих потреб ринку і впровадження інновацій. Серед великих компаній, що використовують мережний принцип організації, можна назвати Nokia.

Поширення підприємств з мережним принципом організації пов'язане з кризою великих корпорацій і переходом від масового виробництва до гнучкого демасифікованого виробництва, заснованого на інших принципах менеджменту, запроваджуваних японськими компаніями (так званий тойотизм).

В сучасній економіці мережні структури – звичайне явище. При цьому координація цілей учасників мережі стає важливим фактором досягнення успіху за рахунок збільшення розміру мережі.

Сьогодні фінансові операції вже не можуть здійснюватися окремою фінансовою установою, їх механізм визначається складною структурою взаємного співробітництва – мережею, утвореною кількома фінансовими установами. Якщо розглядати останні як вузли, а зв'язки між ними, як ланки, то структура, сформована ними, є мережною [5].

Розвиток мережних структур зумовив зміну типу організації сучасних підприємств, де почав переважати не лінійний ієрархічний принцип організації, а горизонтальний мережний.

До теперішнього часу найбільш поширеними були лінійна або матрична структура організації. Сукупність зв'язків між елементами при лінійній структурі організації характеризується тим, що кожний з учасників підпорядкований тільки одному учаснику більш високого рівня ієрархії (безпосередньому керівнику). Матричній структурі, властиве як підпорядкування учасника кільком особам, що перебувають на різних рівнях ієрархії (подвійне підпорядкування і розподілений контроль), так і зв'язки одного рівня. Але ці типи структури відображають статичні властивості організації.

Для опису динаміки змін у часі найоптимальнішою є мережна структура, в якій потенційно (за потреби) можуть бути встановлені тимчасові зв'язки між будь-якими її учасниками. Одні з цих зв'язків актуалізуються для виконання певного завдання, а для нового - актуалізуються інші зв'язки. Тому в мережних організаціях як тимчасові утворення можуть виникати і лінійно-ієрархічні (пряме підпорядкування), і матричні (подвійне підпорядкування і розподілений контроль) структури.

Така поступова еволюція та поява нових форм організації фінансових систем є загальною тенденцією кінця XX – початку XXI ст., а виникнення мережних структур можна розглядати як альтернативний варіант економічної діяльності.

Український дослідник Г. В. Назарова відзначає, що сьогодні основною тенденцією в розвитку великих компаній є децентралізація управління. Цей процес нерозривно пов'язаний з поступовим переходом від лінійно-функціональних до матричних структур управління, а від них – до мережних організацій, що набувають у світі дедалі більшого поширення як найнадійніший спосіб виживання підприємств в умовах конкуренції.

Саме мережні організації поєднують у собі конкуренцію і співробітництво завдяки неформальній координації роботи, обміну ідеями між фірмами-партнерами, створенню загальних організаційних систем і процесів. Система цінностей мережної організації заснована на взаємній довірі і співробітництві, партнерських відносинах і частковій відмові від особистої вигоди в ім'я загального розвитку мережі.

Мережна структура, на відміну від лінійної ієрархічної, є сукупністю взаємозалежних вузлів, що можуть бути рівнозначними (мережні структури, що не мають центру, наприклад у робочій групі рівноправних фінансових аналітиків) чи нерівнозначними (мережні структури, що мають центр, наприклад, мережа філій великого банку в різних регіонах, і навіть країнах, світу).

Мережну структуру організації комерційного банку (та економічних зв'язків між ними) можна назвати органічною на противагу механістичній лінійній моделі, оскільки мережні структури, фрактальні за своєю сутністю, широко поширені в живій природі. Так, Х. Інаока порівнює структуру економічних зв'язків банку та його фінансових потоків зі структурою річкового басейну з численними притоками. До речи, можна зауважити, що з дослідженням мережних структур у живій природі (зокрема, нейронних мереж у контексті кібернетики) і почалося вивчення цього явища в 70-ті роки XX ст., яке потім поширилося на соціальні й економічні явища [12].

Аналіз виникнення мережних структур в економічній діяльності сучасних компаній свідчить, що ці структури не створювалися навмисно, а виникли спонтанно в процесі адаптації до умов ринку. Зокрема, однією з таких структур, заснованою на високих технологіях, є Інтернет.

Тенденція до утворення мережних структур на фінансових ринках виявилася у 90-ті роки. Це було пов'язано із трьома соціально-економічними, політичними і технологічними чинниками.

По-перше, підвищення рівня добробуту громадян економічно розвинених країн привело до виходу на фінансові ринки великої кількості індивідуальних інвесторів, що прагнули вигідно вкласти свої заощадження через страхові компанії, пенсійні і взаємні фонди. Це явище зазвичай називають демократизацією фінансових ринків, що супроводжувалася їх лібералізацією, тобто зняттям багатьох законодавчих обмежень.

По-друге, важливу роль у зміні структури фінансових ринків відіграли процеси глобалізації, зумовлені зміною політичної ситуації у світі, які привели до виникнення загальносвітової мережі фінансових потоків.

По-третє, в результаті розвитку інформаційних технологій, був створений Інтернет, що технологічно забезпечив функціонування глобальної мережі фінансових потоків та інтерактивну взаємодію між учасниками фінансового ринку. Саме останній фактор, імовірно, можна вважати вирішальним у тому, що тенденція до утворення мережних структур на фінансовому ринку стала переважати. Ця тенденція властива і для України, де за останні десятиріччя відбулося стрімке поширення інформаційних технологій та адаптація економіки до глобального економічного середовища.

Як уже зазначалося, перевага мережних структур полягає в можливості утворення тимчасових зв'язків різного типу для виконання окремих завдань. При цьому мережні структури є не просто сукупністю філій чи дочірніх компаній і не системою багаторівневого маркетингу, а принципово новим типом організації підприємства.

Зростання ролі мережних структур у банківському бізнесі обумовлене використанням інформаційних технологій. Так, завдяки здійсненню операцій через Інтернет вдалося домогтися значного зростання швидкості переміщення капіталу до об'єктів інвестування та зростання прибутковості операцій на фінансових ринках, зокрема у банківському секторі.

Капітал дедалі більше набуває віртуальної форми, стаючи менш залежним від виробництва товарів і послуг. Результатом цього стала доступність операцій з ним для значної кількості суб'єктів ринку. Інформаційні технології на фінансовому ринку принципово спростили доступ до нових послуг локальних споживачів – індивідуальних інвесторів.

Відображенням цих тенденцій стали процеси секьюритизації (заміщення банківського кредиту випуском цінних паперів підприємств) і дезінтермедіації (усунення посередників під час одержання компаніями позичкових коштів безпосередньо в інвесторів, що також сприяє спрощенню доступу на фінансовий ринок його учасників).

Диверсифікованість ринку фінансових послуг виявилася в появі на ринку значної кількості посередників, наближених до індивідуальних інвесторів. Виникнення нових для інвесторів способів вкладення коштів, розширення можливостей керувати інвестиційним процесом, вибір способу реінвестування коштів фінансовими посередниками – все це підвищило роль інституціональних інвесторів.

Взагалі можна зазначити, що протягом останніх двох десятиріч система фінансового

ринку поступово еволюціонувала від традиційної переваги банків до нових тенденцій, які роблять акцент фінансування через фондовий ринок.

Крім того, не тільки змінилася структура фінансових інструментів ринків на користь корпоративних цінних паперів та їхніх похідних, але й психологія потенційних користувачів фінансових ринків – індивідуальних інвесторів, що виявляють все більшу готовність і зацікавленість у використанні інструментів фінансового ринку. Зокрема, наприкінці 80-х – початку 90-х років на фінансовому ринку значно збільшився обсяг операцій з похідними фінансовими інструментами.

Відповідно мережна система організації стала властива не тільки комерційним банкам, а й інституціональним інвесторам (інвестиційним фондам, страховим компаніям та пенсійним фондам).

Поширення мережного принципу організації фінансових ринків виявляється, зокрема, в зростанні значення невеликих (за кількістю співробітників) філій і підрозділів великих фінансових установ та компаній, що потрібно для гнучкості та швидкої адаптації до змінних умов ринку, а також наближення постачальників фінансових та банківських послуг до їх споживачів. Швидкому поширенню таких невеликих локальних підрозділів фінансових установ сприяв розвиток інформаційних технологій, засобів зв'язку і створення локальних комп'ютерних мереж, що дало змогу оперативно обмінюватись інформацією і координувати їх роботу.

Рівномірне територіальне розташування невеликих локальних та регіональних підрозділів фінансових установ (банків, страхових компанії, пенсійних фондів) має дві мети. По-перше, постачальники фінансових послуг максимально наближені до споживачів цих послуг, за рахунок чого збільшується кількість клієнтів. По-друге, послуги набувають персоналізований характер, і для клієнтів цей суб'єктивний чинник сприяє підвищенню довіри до постачальника фінансових послуг.

Тенденцію до персоналізації послуг, зокрема банківських, можна взагалі вважати однією з характерних рис мережної структури організації. Інший підхід (його можна назвати деперсоналізованим) був властивий масовому виробництву і споживанню індустріальної епохи; очевидно, що він не є привабливим для клієнтів.

Основна перевага мережних структур пов'язана з тим, що вони, будучи органічними за своєю природою, на відміну від механістичних лінійних структур, дають можливість більшої свободи, оперативності в організації діяльності і прийнятті рішень, що веде до більшої гнучкості і здатності фінансової установи адаптуватися до мінливих умов ринку.

Водночас поширення мережних структур на фінансовому ринку, створюючи великий ступінь свободи доступу до інформації і непередбачуваності в прийнятті управлінських рішень, породжує проблему підвищення рівня невизначеності та нестабільності.

Тому потрібно постійно підтримувати стійкість мережі. Якщо фінансова установа припинить трансакції, в інших установ, що очікують їх одержання, можуть виникнути серйозні проблеми, а в найгіршому випадку порушення роботи однієї з фінансових установ може вплинути на всю мережу.

Для запобігання таких ситуацій особливого значення набуває проблема математичного моделювання і прогнозування поводження мережних структур фінансового ринку.

Вироблення правильного підходу до проблеми стабільності і прогностичності мережних структур пов'язане з формуванням системи управління мережею. Система управління мережею організації включає прогнозування, планування, безпосереднього управління, аналіз та контроль. Розуміння тенденції до формування мережних структур фінансового ринку іноді пов'язують з загальним послабленням контрольних функцій економічної системи, чи, навпаки, виникненням контролю нового, більш складного типу. Перший підхід базується на обмеженні доступу до інформації. Але, спроби обмежити доступ до інформації чи до нових методів діяльності на фінансовому ринку, в тому числі банківському секторі, призводять лише до економічного і технологічного відставання.

Другий підхід розглядає формування мережних структур фінансового ринку не як послаблення контролю, а як його ускладнення. Тому адекватне вирішення цієї проблеми в контексті інтересів усіх суб'єктів економічної системи передбачає розроблення принципів і методів аналізу та моделювання розвитку мережних структур фінансового ринку з метою прогнозування їх можливої нестабільності.

Зміна форм власності і розвиток організаційно-правових форм зумовили перехід до розгляду банківської мережі як підприємства, що складається з низки філій, відділень, представництв розосереджених територіально, але таких, що мають єдиний механізм функціонування. Тобто, мережу утворюють підрозділи комерційного банку що пов'язані в одну систему організаційними, економічними, фінансовими

та технологічними зв'язками з метою підвищення ефективності діяльності.

Поняття «мережа комерційного банку» необхідно розглядати не тільки, як просте поєднання структурних підрозділів, а й з позиції мережного підходу до організації бізнесу, який тісно пов'язаний з концепцією мережної економіки.

Проведені нами теоретичні дослідження показують, що формування та розвиток ефективної мережі комерційного банку можливі лише за умов використання мережного підходу організації бізнесу. Порівнюючи визначення мережних організацій західних та вітчизняних науковців, можна дійти висновку, що, незважаючи на різні позиції, їх дефініції не суперечать одна одній, а доповнюють та розширюють розуміння проблеми.

Виходячи з аналізу визначень сутності мережі, ми можемо стверджувати, що її характеризують такі основні положення:

1. Мережа комерційного банку являє собою горизонтальну інтеграцію філій та відділень, що мають єдиний центр управління їх діяльністю з централізовано визначеними параметрами діяльності (методами, банківським продуктом, оформленням документів тощо);
2. Мережа в певних випадках використовує мережні підходи організації бізнесу;
3. У складі мережі комерційного банку реалізується єдина бізнес-технологія, що характеризується стандартизованими та інтегрованими процедурами, єдиною інформаційною системою, типовими економічними, технічними, організаційними та іншими показниками;
4. Структурні елементи мережі працюють під єдиним брендом. Саме це є їх основною зовнішньою ознакою, яка відрізняє комерційний банк від інших з позиції споживачів банківських послуг.
5. Розгалужена мережа фінансової установи – це ефективна модель організації банківського бізнесу на засадах використання передових технологій управління матеріальними, трудовими, фінансовими та інтелектуальними ресурсами, автоматизації процесів, використання сучасних інформаційних технологій.
6. Комерційний банк з розгалуженою мережею досягає більшого економічного результату порівняно з іншими банками шляхом зниження питомих витрат на кожний банківський продукт за рахунок концентрації певних управлінських функцій, за рахунок обсягів діяльності, а також за рахунок отримання синергетичного ефекту;

Таким чином, мережа комерційного банку – це сукупність структурних підрозділів банку та інститутів фінансового ринку, на яких реалізується єдина бізнес-технологія та які знаходяться під спільним управлінням з централізовано визначеними параметрами діяльності та створені з метою підвищення ефективності банківського бізнесу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Богомолов, Б. А. Глобализация: некоторые подходы к осмыслению феномена [Текст] / Б. А. Богомолов // Вестник Московского ун-та. Сер. 12. Политические науки. – 2004. – № 3. – С. 105-118.
2. Иноземцев, В. Л. Современное постиндустриальное общество: природа, противоречия, перспективы [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / В. Л. Иноземцев. – М.: Логос, 2000. – 304 с.
3. Кущ, С. Сетевой подход в маркетинге [Текст] / С. Кущ, Д. Рафинеджад, А. Афанасьев // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. – 2002. – № 8 – С. 23-68.
4. Масленников, В. В. Предпринимательские сети в бизнесе [Текст] / В. В. Масленников. – М.: Прессиздат, 2001. – 244 с.
5. Мошенський, С. З. Формування мережної структури фінансових ринків: світові та українські аспекти [Текст] / С. З. Мошенський // Вісник Київського нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Сер.: Економіка. – 2007. – № 91. – С. 31-35.
6. Назарова, Г. В. Організаційні структури управління корпораціями [Текст] / Г. В. Назарова. – 2-ге вид. – Х.: ІНЖЕК, 2004. – С. 182-183.
7. Новиков, Д. А. Сетевые структуры и организационные системы [Текст] / Д. А. Новиков. – М.: Ин-т проблем управлення РАН, 2003. – 102 с.
8. Патюрель, Р. Создание сетевых организационных структур [Текст] / Р. Патюрель // Эксклюзивный маркетинг. – 2001. – № 2. – С. 34-50.
9. Райсс, М. Границы «безграничних» предприятий: перспективы сетевых организаций [Текст] / М. Райсс // Эксклюзивный маркетинг. – 2002. – № 1. – С. 22-32.
10. Рюэгг-Штюрм, Й. Сетевые организационно-управленческие формы – мода или необходимость? [Текст] / Й. Рюэгг-Штюрм, Л. Ахтенхаген // Эксклюзивный маркетинг. – 2002. – № 3. – С. 10-18.
11. Drucker, P. F. Management Challenges for the 21st Century [Text] / P. F. Drucker. – Harperbusiness, 1999. – 207 pp.
12. [Electron. resource]. – Access mode: www.boj.or.jp/en/type/ronbun/ron/wp$/data/wp04e04.pdf
13. [Electron. resource]. – Access mode: http://www.neuroquantology.com/2005/03/151.163.pdf
14. [Electron. resource]. – Access mode: http://www.stem.nyu.edu/networks/fmii93pdf

Надійшла до редколегії 14.05.2010.
Прийнята до друку 25.05.2010.

УДК 338.242.2

О. В. ЛЕПЬОХІНА (Херсонський національний технічний університет)

УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглянуто застосування стратегічного планування та стратегічного управління. Досліджено впровадження прогресивних технологічних процесів на конкретному підприємстві. Виведена динаміка даних процесів на промислових підприємствах по містах та за видами економічної діяльності Херсонської області.

В статье рассмотрено применение стратегического планирования и стратегического управления. Исследовано внедрение прогрессивных технологических процессов на конкретном предприятии. Показана динамика данных процессов на промышленных предприятиях по городам и видам экономической деятельности Херсонской области.

The application of the strategic planning and strategic management is considered in the article. The introduction of progressive technological processes on a concrete enterprise is researched. The dynamics of these processes at industrial enterprises of concrete cities and by the kinds of economic activity in the Kherson Region is displayed.

Вступ

Діяльність підприємства – це погоджений у часі та просторі потоку ресурсів (сировини, матеріалів, обладнання, грошей, трудових ресурсів, інформації), а також їх запасів, які допомагають балансувати та підтримувати ці потоки для отримання запланованих результатів діяльності. Не зважаючи на схожість характеристик підприємств як соціально-економічних систем, кожне підприємство самостійно розв'язує проблеми, що пов'язані з налагодженням зв'язків у системі «підприємство – держава» врахуванням наявних чи можливих «технологічних проривів», із структурною перебудовою на макро- та мікрорівні з соціальними процесами в суспільстві.

Актуальність

Машинобудівна промисловість є ключовим елементом економічної системи, яка визначає місце національної економіки в міжнародному поділі праці і визначає динаміку конкурентоспроможності. Промисловий розвиток є фундаментом для становлення інших секторів економіки країни, тому тема даного дослідження своєчасна і актуальна, через ці показники визначають ефективність високотехнологічного виробництва галузі.

Постановка проблеми

Теорія і практика стратегічної діяльності та управління нею в Україні ще не посіли належного місця. Необхідні нові підходи до управління. Умови функціонування підприємств та організацій нині різко змінюються на макро- та мікроекономічному рівні.

Метою роботи є виведення динаміки та дослідження впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах по містах та за видами економічної діяльності Херсонської області.

Результати

Стратегічно орієнтоване підприємство – це підприємство, де стратегічне мислення є основою, принциповою настановою в діяльності персоналу підприємства, і де застосовується раціональний процес стратегічного планування, який дає змогу розробляти та використовувати інтегровану систему стратегічних планів, і поточна, повсякденна діяльність підпорядкована досягненню стратегічних орієнтирів.

Таке підприємство полегшує собі роботу для забезпечення довго- та короткострокової ефективності та прибутковості [1, с. 332].

Застосування стратегічного планування зумовило необхідність інтеграції різних видів планової діяльності, що здійснювались всіма підсистемами підприємства, а також потребу подальшого розвитку стратегічної діяльності на підприємстві, оформленої у вигляді системи стратегічного управління (рис. 1).

Застосування концепції стратегічного управління – це поєднання цільових та інтегральних підходів до діяльності підприємства, що дає змогу встановлювати цілі розвитку, порівнювати їх з наявними можливостями (потенціалом) підприємства та приводити їх у відповідність за рахунок розробки та реалізації системи

© Лепьохіна О. В., 2010

стратегії за галузевою приналежністю, розміром підприємства (залежно від галузевих особливостей), типу виробництва, рівня спеціалізації, концентрації та кооперації, характерних рис виробничого потенціалу, наявності (відсутності) науково-технічного потенціалу, рівня управління та рівня кваліфікації персоналу, тощо [4].



Рис. 1. Фактори, що формують стратегічний рівень підприємства

Різні підходи до побудови системи стратегічного управління потребують чіткого уявлення про переваги конкретного явища в діяльності окремих підприємств.

Відповідно до визначення стратегічного набору, необхідною є координація стратегій різного типу. Підприємство може досягти загальних цілей за умови збалансованості стратегій, обґрунтованості взаємодії окремих видів у «стратегічному наборі», що сприяє їхньому взаємопідсиленню, тобто досягнення ефекту синергії. «Сила» загальних стратегій підприємства збільшується за допомогою збалансованості «портфеля», де відображені напрямки його діяльності. Окремі напрямки діяльності реалізуються ефективно, коли функціональні та ресурсні стратегії узгоджені та пристосовані одна до одної та до стратегії вищого рівня. Координація між окремими видами стратегій – це «концептуальний клей», що поєднує окремі види діяльності – як виробничі (бізнесові), так і управлінські [5, с. 86].

Крім суто матеріально-фінансових витрат, треба враховувати витрати часу на управління. Причому їх треба розглядати, з одного боку, як час на розробку та реалізацію рішень про перебудову ОСУ, а з іншого – як часові характеристики технології управління в ОСУ, які будуть застосовуватись у майбутньому. Це можливо за умови, коли всі ланки апарату управління взаємодоповнюють одна одну і створюють синергійний ефект (рис. 2).

Раціональне використання фондів підприємства дає змогу інвестувати розвиток найперспективніших напрямків діяльності, які забезпечують існування та розвиток підприємства у довгостроковій перспективі. Керівництво підприємства може надавати консультаційні послуги з метою найкращого використання фінансових ресурсів, впливаючи на діяльність автономних підрозділів.

З метою залучення додаткових ресурсів для розширення можливостей вкладання у перспективі напрямки вищі органи керівництва можуть залучити додаткові кошти.

Одна з головних цілей стратегічного управління на підприємстві – забезпечення раціонального розподілу ресурсів між напрямками діяльності (СЗГ) і їх ефективного використання для найкращого досягнення поставлених стратегічних цілей, а також впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах [3].

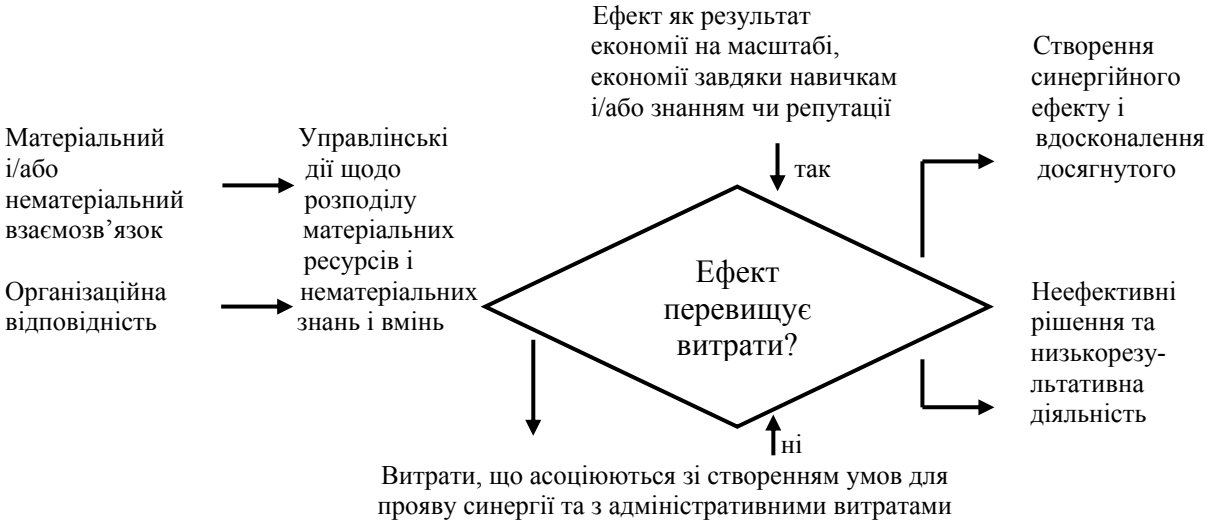


Рис. 2. Вимоги до створення синергійного ефекту

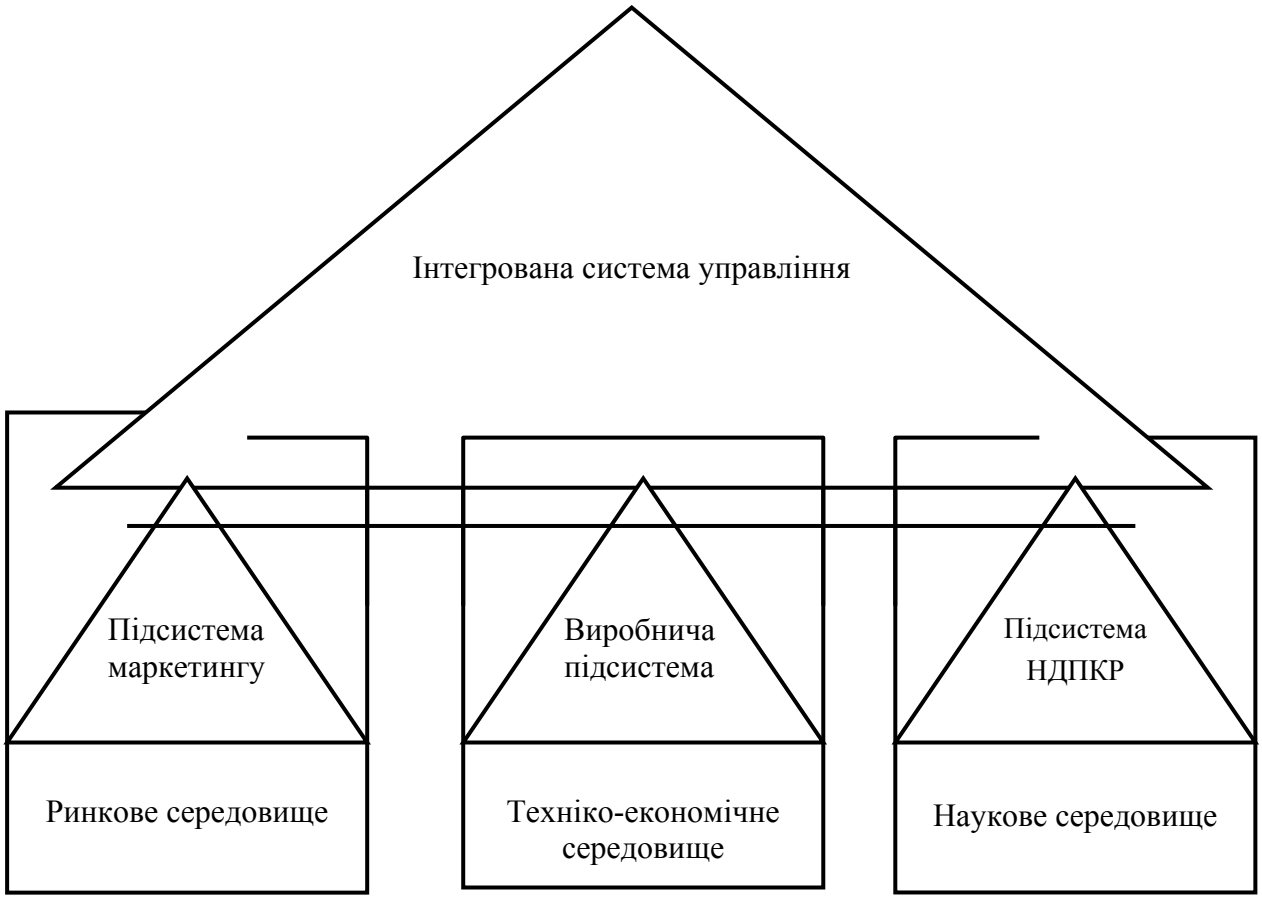


Рис. 3. Графічна інтерпретація концепції Лоуренса-Лорша щодо зв'язку диференціації та інтеграції в ОСУ

У табл. 1 – 2 показано динаміку впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах по містах та за видами економічної діяльності Херсонської області.

Таблиця 1

Впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах по містах (одиниць)

	Всього				З них маловідходних, ресурсозберігаючих, безвідходних			
	2004	2005	2006	2007	2004	2005	2006	2007
Херсонська область	12	10	5	22	2	2	5	3
м. Каховка	2	1	-	-	2	1	-	-
м. Нова Каховка	3	3	2	-	-	1	2	-
м. Херсон	-	4	-	21	-	-	-	3

Таблиця 2

Впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах за видами економічної діяльності (одиниць)

	Всього				З них маловідходних, ресурсозберігаючих, безвідходних			
	2004	2005	2006	2007	2004	2005	2006	2007
Промисловість	12	10	5	22	2	2	5	3
Машинобудування	2	5	2	22	2	2	2	3
Виробництво машин та устаткування	-	1	-	1	-	-	-	-
Виробництво електричного, електронного та оптичного устаткування	2	4	2	2	2	2	2	2
Виробництво транспортних засобів та устаткування	-	-	-	19	-	-	-	1
Інші галузі промисловості	-	-	-	-	-	-	-	-

При аналізі даних таблиць можна зробити висновки, що у 2007 році спостерігається позитивна динаміка впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах міста Херсона.

Крім впровадження прогресивних технологічних процесів на промислових підприємствах, на формування доходу, як фінансового показника, впливає встановлений порядок визначення фінансових результатів діяльності; обчислення собівартості продукції (робіт, послуг); загальногосподарських витрат; визначення прибутків (збитків) від фінансових операцій, іншої діяльності. На формування абсолютної суми прибутку підприємства впливають: результати, тобто ефективність його фінансово-господарської діяльності; сфери діяльності; галузь господарства; установлені законодавством умови обліку фінансових результатів.

Одержання прибутку на машинобудівельних підприємствах орієнтує товаровиробників на збільшення обсягу виробництва продукції, потрібної споживачу та зниження витрат на

виробництво. Цим досягається як мета підприємництва, так і задоволення суспільних потреб.

Управління людським ресурсом здійснюється за допомогою мотивів і стимул-реакцій до праці [2, с. 113]. Це матеріальні грошові стимул-реакції (заробітна плата, надбавки, доплати, премії та ін.), система матеріальних, але не грошових стимул-реакцій (соціальних) і система моральних стимул-реакцій.

При дослідженні Каховського заводу електрозварювального устаткування можна побачити, що за минулі тринадцять років завод лише зберіг виробничий і кадровий потенціал, а також збудував нове підприємство, на якому досягнуто якість продукції світового рівня, ставши лідером.

На початку економічних реформ і недосконалого ринку багато підприємств вичікували або ж вдавались до огуди пропонованих перемін, сподівалися на скороминущість реформ, колектив заходу працював на ринок, який зароджувався, вивчав його і модернізував виробництво [7, с. 247].

Господарський 1991-й рік був тривожним, але загалом благополучним. А діяльність заводу на наступний рік планувалась при соціалізмі, реалізувати намічене довелося зовсім за інших соціально-економічних умов.

З відміною державного замовлення у 1992 р. і планового розподілу готової продукції довелося зменшити серійне виробництво, а вже готові машини і апарати відправити на склад.

Між тим економічна криза не вибила з колії трудовий колектив, бо у попередні роки завод провів чергову модернізацію – висока механізація і автоматизація виробничих процесів, новітні технології забезпечували ефективність комплексної системи управління якістю продукції.

Постало питання, що робити на цих потужностях. Керівництво заводу неодноразово і подовгу «парили чуби», брали участь і конструктори, й інженери, і технологи. Розробили організаційно-технічні заходи для серійного випуску зовсім нової продукції – товарів народного споживання. Це ручний таль, здатний піднімати вантажі на невелику висоту, домкрат для автомобіля, батареї для водяного опалення, бочки для літнього душу, шлангові з'єднання і т.п.

З профільної продукції – трансформатор ТДМ 259 на струм 250 А для зварювання електродами діаметром 2…5 мм, серія автоматів для наплавлення під шаром флюсу АД 320, рейкозварювальна машина для вузькоколійок і рейок метро К 828, для труб малого діаметра – К 819 тощо. В ті роки було розроблено рейкозварювальні машини К 190 і К 355 з контролерами російського виробництва. То було найвище досягнення тогочасного технічного прогресу в галузі машинобудування. Варто відзначити – це і є прообраз рейкозварювальних машин XXI століття.

З метою концентрації інженерних пошуків на заводі електрозварювального устаткування створено інженерний центр, де сміливі ідеї втілювались у нові, більш досконалі машини, різко скоротився термін реалізації задумів. Як і всі попередні роки, завод тісно співпрацював з Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона, зокрема з 26-м відділом, яким керує академік Сергій Іванович Кучук-Яценко.

Конкурентоспроможність нашої продукції на ринку може забезпечити її технічна новизна, якість і доступна ціна, тому керівництво заводу вимагало від кожного пропозиції. Щоб з'являлось більше нових ідей, приділялась велика увага останній інформації в галузі, передовому досвіду. Поїздки спеціалістів на споріднені підприємства, творчі відрядження за кордон, зустрічі з вченими, участь в теоретичних семінарах і виставках стали постійним явищем. І давали сподіваний результат, ставали локомотивом.

А головне – щорічні плани технічного розвитку Каховського заводу електрозварювального устаткування неодмінно і максимально виконувались, при збільшенні випуску машин, апаратів, товарів народного споживання, а також знятті неконкурентної продукції з виробництва. Тому порівняно з 1991 р. у 1994 р. номенклатура обновилась на 75 %, а строки освоєння нової техніки суттєво скоротились.

З освоєнням ринку зрозуміли, що спеціалізований завод повинен більше займатись профільною продукцією. Вже в цьому році темпи зростання виробництва електрозварювального устаткування значно зросли.

Налагодили випуск рейкозварювальної машину К 900 замість добре відомої К 355. Новинка за проектними показниками набагато перевершила машини такого класу. Спеціалісти назвали її машиною нового покоління, машиною XXI століття.

Постійно обновлюючи устаткування, завод закупив партію новітніх металообробних верстатів, зокрема, з числовим програмним управлінням, освоєно електрошлакове лиття, антикорозійне покриття деталей.

В загальному виробництві підприємства електрозварювального устаткування становило 46%, товари народного споживання – 50%.

Це свідчить про те, що завдяки інженерному впровадженню нових розробок і планомірних організаційно-технічних заходів завод все більше виготовляє профільну продукцію, поступово відмовляючись від супутніх товарів, навіть зорієнтованих на ринок. Домінує тенденція випуску машин і апаратів на експорт. Це засвідчує зростаюча роль складних і науково місткіх товарів з каховською маркою на світовому ринку.

Так, Україна споживає 54,5 % всієї заводської продукції за рік, Російська Федерація – 36,5 %, інші країни СНД – 3,7 %, далекого зарубіжжя – 11 %.

Завод у своїй роботі більше, ніж будь-коли орієнтується на ринок, є великий попит на джерела живлення для електродугового зварювання. З 1659 одиниць електрозварювального устаткування їх випущено 1138 штук.

В цілому обсяги виробництва нової техніки подвоїлися. Кожного року у повній мірі виконано організаційно-технічні заходи, що позначалось на якості всієї роботи. Саме тому на заводі відмовились від поділу продукції на загально промисловий варіант виготовлення і експортний. Отже, все що зроблено на заводі – зроблено за найвищими стандартами з високою якістю, значить продукція конкурентоспроможна, це мобілізуючий фактор для ефективної роботи на всіх рівнях.

На основі технології зварювання рейок пульсуючим оплавленням разом з Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона створено високоефективну машину для зварювання рейок К 1000. Це стаціонарна машина з комп'ютерною системою управління та контролю основних параметрів зварювання фірми «Сіменс», яка забезпечує бездоганну центровку рейок і видалення облою, використана також гідроапаратура провідних західних фірм «Рексрот» і «Бош». Комп'ютерні блоки управління і гідросистема становлять майже 7 % вартості машини, але це абсолютна технічна надійність, що забезпечує К 1000 неперевершений світовий рівень.

Нова продукція, електрозварювальні машини, може бути створена тільки на основі нових технологій, що в свою чергу передбачає новітню виробничу базу. В 1998 році верстатний парк заводу в черговий раз поповнився верстатами останніх моделей – токарними, фрезерними, плоскошліфувальними, кромкозагинальними. Впроваджено і сіткографію, порошкове фарбування, олово-кобальтове покриття деталей тощо [6, с. 5-8].

Технічне переоснащення здійснюється за рахунок власних коштів – самоінвестування. В 1998-1999 рр., наприклад, обсяг капіталовкладень у розвиток виробництва за технічним планом розвитку заводу становив 3,2 млн грн. Все це випробувані новинки науки і передового досвіду, які оперативно впроваджуються на заводі, що дозволяє успішно вирішувати поставлені завдання і високі цілі забезпечуючи зростання економіки.

На межі століть можна сказати: АТ «КЗЕСО» є найбільшим підприємством у галузі, одним з лідерів в Україні, а з окремих видів зварювання (зварювання залізничних рейок пульсуючим оплавленням) – і в усьому світі.

Каховський завод електрозварювального устаткування, що досліджується, є багатопрофільним; він може випускати усі види зварювальної продукції і єдиний в СНД володіє таким потенціалом.

Необхідно враховувати: за час, якого дуже мало, ринок буде заповнений продукцією, з якою важко потім конкурувати. Адже головний принцип ринку: «бути в потрібному місці в потрібний час» [8, с. 286-287]. Приклад цьому – машина К 1000. Виявилося: не будь ми готові до її виробництва в 2000 році, залишилися б без замовлень. Вигравши час, ми зробили ефектний прорив: відразу половина рейкозварювальних підприємств Росії взяла чітку орієнтацію на наш завод. А могло ж бути й інакше. Це стосується й інших видів продукції. Для Каховського заводу електрозварювального устаткування ситуація складається якнайкраще.

Головне і дуже важливо – підприємство не має боргів, має стабільне фінансове становище, яке необхідно розумно використати для того, щоб переоснащувати виробничу базу з прицілом на використання найновітніших технологій, котрі дозволять виготовляти найточніші вузли і машини. Це єдиний спосіб гарантувати підприємству нормальну роботу, стабільність і процвітання.

Важливо нові можливості для інноваційної діяльності заводу відкриває Технопарк, створений стараннями Інституту електрозварювання ім. Патона. Ця структура дозволяє об'єднати зусилля виробництва і науково-дослідних організацій і спрямувати їх на здійснення нових технічних проектів. Через механізм державного регулювання виділяючи кошти на ці проекти як інноваційні й пріоритетні, Технопарк надає певні пільги по експорту, імпорту, податках. Ці кошти йдуть на рахунок Технопарку і використовуються на інноваційну діяльність, створення

нових зразків обладнання. Каховський завод-учасник Технопарку і має можливість протягом року провести багато цілком нових проектів, які сприятимуть появі нових зразків техніки, продукції.

Сьогодні завод стоїть перед головною проблемою переоснащення з використанням нового верстатного парку: без точного машинобудування неможливо вирішити завдання по створенню складного устаткування.

Висновки

Реформування економіки пред'являє високі вимоги до розвитку виробництва, підвищенню його організаційно-технічного рівня. Вдосконалення організації промислового виробництва як системи заходів виступає як з'єднуюча ланка між всіма учасниками виробничих стосунків, встановлює конкретні форми і методи на виробництві і тим самим визначає виробниче і соціальне середовище. Створюються необхідні умови управління творчим процес трудової діяльності, досягається високий результат як індивідуальної, так і колективної праці.

Щоб бути конкурентоспроможним на світовому ринку аналогічної продукції, треба підвищувати її якість до рівня зарубіжних виробників.

Каховський завод електрозварювального устаткування має винятково сприятливі обставини і ними слід скористатися, не втратити цю можливість. Підтримуючи започатковану традицію, завод стане багатопрофільним – з високим рівнем виробництва, якістю продукції, складністю виробів єдиним у всій Європі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вахненко, Т. П. Зовнішні боргові зобов'язання у системі світових фінансово-економічних відносин [Текст] / Т. П. Вахненко. – К.: Фенікс, 2006. – 536 с.
2. Гальчинський, А. С. Інноваційна стратегія українських реформ [Текст] / А. С. Гальчинський, В. М. Геєць, А. К. Кінах. – К.: Знання України, 2002. – 326 с.
3. Івану, Р. А. Інвестиційна політика держави і розвиток науково-технічного прогресу [Текст] / Р. А. Івану, Л. В. Колобова, А. Г. Ягодка // Фінанси України. – 1998. – № 4.
4. Красникова, Е. Рыночная трансформация российской экономики как процесс первоначального накопления капитала [Текст] / Е. Красникова // Вопросы экономики. – 2001. – № 2.
5. Осауленко, О. Г. Державна структурна політика та забезпечення стійкого економічного зростання [Текст] / О. Г. Осауленко. – К., 2001. – 91 с.
6. Пшеничный, М. В. Приспособления для многоинструментальных станков и гибких производственных систем механообрабатывающего производства [Текст] / М. В. Пшеничный // Автоматизация и современные технологии. – 2003. – № 12. – С. 5-8.
7. Проблеми управління інноваційним розвитком підприємств у транзитній економіці [Текст] : монографія / за заг. ред. д.е.н., проф. С. М. Ілляшенка. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. – 582 с.
8. Стеченко, Д. М. Розміщення продуктивних сил і регіоналістика [Текст] / Д. М. Стеченко. – С. 286-287.

Надійшла до редколегії 09.03.2010.
Прийнята до друку 11.03.2010.

УДК 330.657.421

Ю. Т. ТРУШ, Г. О. КОРОЛЬ, М. В. КУЦИНСЬКА (НМетАУ, Дніпропетровськ)

ЗНОС ТА АМОРТИЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ У БЮДЖЕТНИХ УСТАНОВАХ І НА КОМЕРЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Проведено порівняння методу нарахування зносу основних засобів у бюджетній установі та їх амортизації на комерційному підприємстві. Обґрунтована методика вибору методу амортизації об'єкта основних засобів на комерційних підприємствах.

Проведено сравнение метода начисления износа основных средств в бюджетных учреждениях и их амортизации на коммерческом предприятии. Обоснована методика выбора метода амортизации объекта основных средств в коммерческих предприятиях.

The comparison of methods of extra charge of wear of the fixed assets in budgetary establishments and their amortization in business enterprises is conducted. The procedure of choice of amortization method for an object of the fixed assets in business enterprises is grounded.

Вступ

Усі установи та підприємства незалежно від галузей економіки й форм власності для ведення своєї діяльності використовують основні засоби, які в процесі їх експлуатації втрачають свою вартість, що спричиняється впливом зовнішнього середовища, а також морального зносу. Для характеристики цього процесу використовують поняття зносу та амортизації. При цьому для бюджетних установ амортизаційні відрахування не здійснюють, а нараховують знос. Нарахування зносу на основні засоби бюджетних установ не має на меті створення резерву для відновлення цих засобів, на відміну від комерційних підприємств, де особливістю використання основних засобів є поступове перенесення їх вартості на собівартість продукції, робіт, послуг або на витрати поточного періоду. Таким чином, у бюджетних установах сума нарахованого зносу основних засобів за економічною сутністю являється показником того, через який час об'єкт основних засобів втрачає свою вартість та має відповідати строку його фізичного зношення.

Однак, на сьогоднішній день використання поняття «знос» для бюджетних установ стає наближеним до його застосування на комерційних підприємствах, оскільки при визначенні ефективності діяльності бюджетних установ, наприклад, таких як вищі навчальні заклади, аналізується ефективність використання основних засобів в умовах обмеженого фінансування діяльності закладів на основі показника рентабельності основних засобів, для розрахунку якого використовується їх залишкова вартість [1], то очевидно, що питання розрахунку зносу у бюджетних установах набувають своєї актуальності.

Відповідно до діючого в Україні законодавства для нарахування зносу в бюджетних установах пропонується лише один метод [2], який за своєю сутністю тотожний методу, що використовується у податковому обліку для нарахування амортизації основних засобів комерційних підприємств. Такий підхід обґрунтовується необхідністю контролю за використанням державного майна бюджетними установами та витратою бюджетних коштів.

Стосовно комерційних підприємств можна стверджувати, що від розміру амортизаційних відрахувань залежить прибуток підприємства, причому на розмір амортизації впливає не тільки вартість основних засобів і термін їх експлуатації, а й обраний підприємством метод нарахування амортизації, варіювання якого допустиме в сфері фінансового та управлінського обліку. Так, амортизація вартості основних засобів комерційних підприємств у національній практиці може проводитись за допомогою наступних методів: прямолінійного; зменшення залишкової вартості; кумулятивного; прискореного зменшення залишкової вартості; виробничого та податкового [3]. В міжнародній практиці – прямолінійного, зменшення залишку та суми одиниць продукції [4].

Слід відзначити, що проблеми удосконалення існуючих моделей і методик нарахування амортизації [5, 6], генерація нових методів амортизації для рідкісних видів основних засобів [7, 8] є добре висвітленими в науковій літературі. Деякі науковці навіть дають рекомендації щодо визначення оптимального терміну амор-

© Труш Ю. Т., Король Г. О., Куцинська М. В., 2010

тизації основних засобів [5, 9]. Наукові роботи містять рекомендації стосовно вибору методу амортизації для окремих видів основних засобів [7, 8, 10]. Разом з тим, питання обґрунтування вибору методу нарахування амортизації основних засобів комерційних підприємств залишається відкритим.

Постановка задачі

Згідно з нормами діючого законодавства бюджетні установи не мають вибору серед методів нарахування зносу, оскільки існує лише один.

Що стосується комерційних підприємств, то для них існує перелік методів, один з яких вони мають право обирати. При здійсненні вибору методу нарахування амортизації комерційні підприємства мають обрати той метод, який якнайкраще відповідає очікуваному способу одержання економічних вигід від використання кожного окремого об'єкта основних засобів [3] і відображає очікувану форму споживання майбутніх економічних вигід, втілених в активі [4]. Крім того, вибір методу амортизації також залежить від цілей і задач, які поставлені власниками і керівництвом підприємства перед обліком як інструментом формування показників фінансового стану підприємства і збору необхідної для управління інформації. Тому неможливо використовувати лише загальні рекомендації щодо вибору методу амортизації, як, наприклад:

а) для нарахування амортизації невиробничого призначення використовувати методи амортизації, які базуються на часі експлуатації основних засобів:

1) в національній практиці: прямолінійний, зменшення залишкової вартості, кумулятивний, прискореного зменшення залишкової вартості, податковий;

2) в міжнародній практиці: прямолінійний, зменшення залишку;

б) для нарахування амортизації виробничого призначення використовувати метод амортизації, який базується на кількості одиниць, отриманих від експлуатації об'єкта основних засобів, тобто виробничий метод нарахування амортизації основних засобів в національній практиці і суми одиниць продукції – в міжнародній.

В зв'язку з цим, ***метою статті*** є порівняння методів нарахування зносу в бюджетних установах та амортизації основних засобів на комерційних підприємствах та удосконалення методики вибору методу амортизації основних засобів.

Результати дослідження

Для нарахування зносу основних засобів бюджетних установ об'єкти поділяються на три групи. Норми зносу встановлюються у відсотках до первісної вартості кожної групи основних засобів на кінець звітного періоду: 5, 25 та 15 % відповідно для об'єктів першої, другої та третьої груп основних засобів. Бюджетними установами знос нараховується в останній день року (останній робочий день грудня) на первісну вартість. Знос визначають за повний календарний рік відповідно до встановлених норм. Інших методів нарахування зносу для бюджетних установ на сьогоднішній день згідно з чинним законодавством не існує.

Що стосується комерційних підприємств, то у бухгалтерському обліку передбачене щомісячне нарахування амортизації. Разом з тим, при застосуванні всіх методів, крім виробничого і податкового, спочатку визначається річна сума амортизації, яка потім розподіляється по місяцях поділом її на 12 (місяців). Виключення складають тільки підприємства з сезонним характером виробництва, що теж нараховують річну суму амортизації, але розподіляють її на період роботи в звітному році, тобто поділяють її не на 12, а на кількість місяців фактичної роботи. Тому при виборі методу амортизації достатньо розглядати річні значення амортизаційних відрахувань.

Нарахування амортизації починається з місяця, наступного за місяцем, у якому об'єкт основних засобів став придатним для корисного використання, тобто був введений в експлуатацію, що обов'язково підтверджується «Актом приймання-передачі (внутрішнього переміщення) основних засобів» (типова форма № ОЗ-1) Припиняється нарахування амортизації з місяця, наступного за місяцем вибуття об'єкта основних засобів. У цьому випадку на підприємстві складаються типові форми № ОЗ-3 «Акт на списання основних засобів» або № ОЗ-4 «Акт на списання автотранспортних засобів». У випадку вибуття об'єкту через реалізацію (продаж) чи безкоштовну передачу юридичній особі заповнюється зазначена вище форма № ОЗ-1 [11]. Разом з тим, протягом періоду експлуатації метод нарахування амортизаційних відрахувань може змінюватися, у цьому випадку на підприємстві підготовлюється і вводиться в дію наказ про зміну положень облікової політики підприємства.

Для визначення найбільш придатного для даного підприємства методу розрахунку амортизаційних відрахувань важливо встановити

критерії, якими слід керуватись. Одним із таких критеріїв, на наш погляд, може бути максимальна відповідність амортизації фізичному зносу основних засобів, правдиве визначення витрат і, відповідно, прибутку підприємства за звітній період. До того ж вважається за доцільне використання можливості віднесення амортизаційних витрат на початкові періоди експлуатації основних засобів з метою прискорення процесу відновлення основних засобів. Разом з тим, деякі підприємства можуть прагнути прикрасити результати своєї діяльності в початковому періоді експлуатації основних засобів, тоді вони будуть прагнути віднести амортизаційний тягар на майбутнє.

Метод амортизації вартості основних засобів необхідно визначати для кожного об'єкта окремо. Це пов'язано з тим, що величина амортизаційних відрахувань залежить від багатьох факторів. Основними з них є: тривалість періоду експлуатації, вид об'єкту основних засобів та його група по класифікації, що застосовується в податковому обліку.

Після визначення вимог до методу амортизації слід установити, які методи амортизації можуть використовуватись стосовно даного об'єкта основних засобів. Для цього необхідно з'ясувати наявність і можливість визначення таких складових моделей розрахунку амортизаційних відрахувань:

- первісна або залишкова вартість, якщо об'єкт основних засобів вже експлуатувався;
- ліквідаційна вартість;
- повний або залишковий термін корисного використання активу.
- плановий загальний обсяг виробництва за весь або залишок строку корисного використання;
- фактичний обсяг виробництва у звітному періоді.

При формулюванні рішення стосовно можливості використання методу амортизації слід врахувати керуватись наступним:

- якщо значення ліквідаційної вартості дорівнює нулю, то неможливе використання методу зменшення залишкової вартості;
- якщо повний або залишковий термін корисного використання активу становить два роки, то неможливе використання методу прискореного зменшення залишкової вартості;
- якщо неможливо встановити обсяги виробництва, то неможливе використання виробничого методу або суми одиниць продукції.

Після ухвалення рішення стосовно переліку можливих методів нарахування амортизації вартості об'єкта основних засобів необхідно визначити суми амортизаційних відрахувань по кожному з можливих методів для кожного періоду терміну служби об'єкта основних засобів. При цьому доцільно визначати і порівнювати річні суми, оскільки, як доведено раніше, майже всі методи передбачають розрахунок річної амортизації.

Далі на підставі отриманих даних можливо розрахувати накопичені суми амортизаційних відрахувань різними методами для кожного періоду терміну служби об'єкта основних засобів, що здійснюється шляхом підсумовування амортизаційних нарахувань попередніх років.

Потім визначається залишкова вартість об'єкта основних засобів шляхом віднімання від первісної вартості об'єкта основних засобів суми накопиченої амортизації за кожним методом для кожного періоду терміну служби об'єкта основних засобів.

Для полегшення прийняття управлінського рішення щодо вибору методу амортизації вартості основних засобів пропонується побудувати по кожному з можливих методів графік залежності накопиченої амортизації об'єкта основних засобів від терміну його служби, а також графік, що відображає залежність залишкової вартості об'єкта основних засобів від терміну служби. І вже шляхом порівняння кривих графіків здійснити вибір методу амортизації вартості основних засобів. Обирається той метод, який найкращім чином відповідає встановленим вартісним критеріям. Очевидно, що ступінь зношеності об'єкта основних засобів найкращім чином відображає виробничий метод нарахування амортизації, однак найшвидше або найповільніше списання вартості об'єкта основних засобів може досягатись іншим методом, який на графіку залежності накопиченої амортизації від терміну служби відповідає кривій, розташованій найвище.

Таким чином, ухвалення рішення щодо вибору методу амортизації вартості об'єкта основних засобів є поетапним процесом, який в структурованому виді наведений на рис. 1.

Розглянемо використання розробленої методики на конкретному прикладі. Так, підприємство придбало 25.12.2008 р. кран вартістю 500 тис. грн. і припускає його використовувати протягом 11 років. Ліквідаційна вартість не встановлена. Передбачається, що кран відпрацює 15 860 годин із розрахунку, що кожен рік тривалість його використання буде скорочуватись на півгодини в день. Крім того, відомо, що автомобільний транспорт у податковому обліку

входить до другої групи основних засобів. Визначимо метод, що доцільно використовувати для списання вартості цього основного засобу за розробленою методикою. Необхідні розрахунки по кожному методу амортизації наведені в табл. 1 і 2.



Рис. 1. Етапи методики обгрунтування вибору методу амортизації

На підставі розрахунків побудовано графіки накопиченої амортизації і залишкової вартості крана (рис. 2 і 3).

Аналіз залежності накопиченої амортизації від терміну служби крана (рис. 2), показав, що вище всіх розташована крива, яка відображає зміну суми накопиченої амортизації, що нараховується податковим методом. Таким чином, для крана, термін експлуатації якого становить 11 років, доцільно для заниження фінансового результату списання вартості здійснювати податковим методом, а для відображення більш кращих результатів – прямолінійним або виробничим методами. Слід відзначити, що використання виробничого методу дозволить більш точно відображати в обліку зменшення реальної вартості основного засобу і для засобів праці його використання є пріоритетним.

Таблиця 1

Сума накопичено амортизації крана, тис. грн.

Рік	Метод амортизації				
	прямолінійний	залишкової вартості	кумулятивний	податковий	виробничий
1	0	0	0	0	0
2	45	90	83	171	65
3	90	165	159	284	127
4	136	226	227	358	184
5	181	275	287	407	237
6	227	316	340	439	286
7	272	350	386	460	331
8	318	377	424	473	372
9	363	399	454	482	409
10	409	417	477	488	442
11	454	432	492	492	471
12	500	445	500	495	500

Таблиця 2

Залишкова вартість крана, тис. грн.

Рік	Метод амортизації				
	прямолінійний	залишкової вартості	кумулятивний	податковий	виробничий
1	500	500	500	500	500
2	454	409	416	328	434
3	409	334	340	215	372
4	363	273	272	141	315
5	318	224	212	92	262
6	272	183	159	60	213
7	227	149	113	39	168
8	181	122	75	26	127
9	136	100	45	17	90
10	90	82	22	11	57
11	45	67	7	7	28
12	0	54	0	4	0

Метод амортизації основних засобів необхідно переглядати у випадку, якщо відбулися істотні зміни в очікуваному способі надходження економічних вигод від використання цих активів. Необхідність зміни методу амортизації може

бути пов'язана, наприклад, із прискоренням морального старіння оснащення через появу на ринку його нового виду, що ефективніше виконує ті ж самі функції.

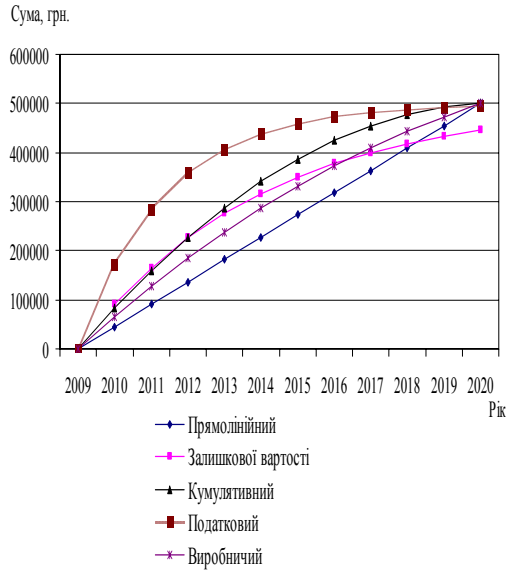


Рис. 2. Динаміка зростання накопиченої амортизації крана

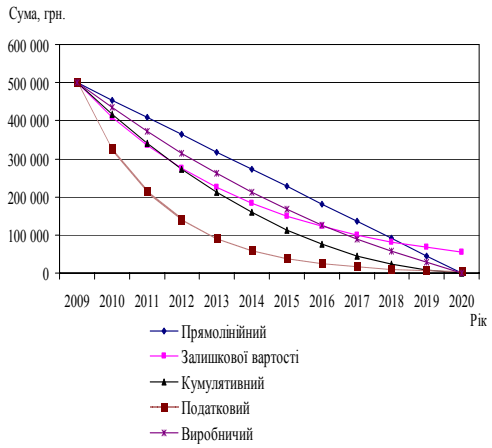


Рис. 3. Динаміка зменшення залишкової вартості крана

Висновки

Існування єдиного підходу в бюджетних установах щодо застосування одного методу нарахування зносу основних засобів з затвердженими ставками є обґрунтованим, оскільки забезпечується можливість контролю за використанням державного майна та витратою бюджетних коштів.

Для комерційних підприємств має сенс використовувати запропоновану методику вибору методу амортизації вартості об'єкта основних засобів, що дозволить усунути суб'єктивний фактор при визначенні методів нарахування амортизації, позитивно позначиться на фінансових результатах роботи підприємства і надасть необхідну інформацію для прийняття управлінських рішень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Куцинська, М. В. Аналітичне забезпечення оцінки ефективності функціонування кафедр вищого навчального закладу [Текст] / М. В. Куцинська, Г. О. Король // Менеджмент та підприємництво: становлення і проблеми розвитку. – Вип. № 647. – Львів: Нац. ун-т «Львівська Політехніка», 2009. – С. 563-567.
2. Лист Держ. казначейства України № 07-04/ 2362-11163 від 20.12.2005 «Про нарахування зносу на необоротні активи бюджетних установ» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1041.13368.0
3. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби»: Затв.: Наказ Мін. фінансів України від 27.04.2000 № 87 [Текст] // Офіційний вісник України. – 2000. – № 12. – С. 10-15.
4. Міжнародний стандарт бухгалтерського обліку 16 «Основні засоби» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.minfin.gov.ua /document/92427/МСБО_16.pdf
5. Бакай, В. Й. Амортизаційна політика та оновлення основних фондів на промислових підприємствах [Текст] : автореф. дис. … канд. екон. наук: 08.06.01 / В. Й. Бакай; Хмельницький нац. ун-т. – Хмельницький, 2006. – 20 с.
6. Гаценко, О. П. Облік необоротних активів в умовах формування ринкових відносин [Текст] : автореф. дис. … канд. екон. наук: 08.06.04 / О. П. Гаценко; Нац. аграрний. ун-т. – К., 2000. – 19 с.
7. Євтушенко, С. М. Амортизація основних засобів у системі бухгалтерського обліку [Текст] : автореф. дис. … канд. екон. наук: 08.06.04 / С. М. Євтушенко; Нац. наук. центр «Ін-т аграрної економіки» УААН. – К., 2004. – 22 с.
8. Хома, С. В. Облік і аналіз амортизації основних засобів на підприємствах нафтогазовидобувного комплексу [Текст] : автореф. дис. … канд. екон. наук: 08.00.09 / С. В. Хома; Тернопільський. нац. екон. ун-т. – Тернопіль, 2008. – 20 с.
9. Євтушенко, С. М. Визначення терміну використання основних засобів [Текст] / С. М. Євтушенко; за ред. П. Т. Саблука, М. Я. Дем'яненка, В. М. Жука // Реформування обліку, звітності та аудиту в системі АПК України: стан та перспективи. – К.: Ін-т аграрної економіки, 2003. – С. 133-136.
10. Городянська, Л. В. Облік і аналіз нарахування та використання амортизації [Текст] : автореф. дис. … канд. екон. наук: 08.06.04 / Л. В. Городянська; Київ. нац. екон. ун-т. – К., 2005. – 19 с.
11. Облік основних засобів [Текст] // Все про бухгалтерський облік «Первинна документація». – 2009. – С. 8-20.

Надійшла до редколегії 23.11.2009.
Прийнята до друку 17.12.2009.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 34
(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. 33,48. Тираж 100 пр. Зам. № 2299.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Адреса редакції, видавця та дільниці 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.