

06
254

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 1

Дніпропетровськ
2003

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

В І С Н И К
Дніпропетровського
національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 1

Дніпропетровськ
2003

Редакційна колегія:

Головний редактор д-р техн. наук *Пишійко О. М.*
Члени редколегії: д-ри техн. наук *Біляєв М. М., Блохін Є. П., Боднар Б. Є., Босов А. А., Браташ В. О., Гетьман Г. К., Даніленко Е. І., Данович В. П., Доманський В. Т., Дубинець Л. В., Жуковицький І. В., Загарій Г. І., Казакевич М. І., Коротенко М. Л., Костін М. О., Петренко В. Д., Пунагін В. М., Рибкін В. В., Разгонов А. П., Савчук О. М., Хандецький В. С., Шафіт Є. М.*;
д-ри фіз.-мат. наук *Гаврилюк В. І., Кравець В. В.*;
д-ри хім. наук *Плахотнік В. М., Федін О. В.*;
д-ри екон. наук *Бабіч В. П., Драгун Л. М., Зайцева Л. М., Крамаренко В. Д., Покотілов А. А.*
Відповідальний секретар канд. техн. наук *Корженевич І. П.*

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

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 18.11.02, протокол № 3

В53

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 1. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 178 с.

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

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

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

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

ББК 39.2

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

В. І. ГАВРИЛЮК (ДІТ)

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
НА РОБОТУ РЕЙКОВИХ КІЛ І. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТІКАННЯ ТЯГОВОГО СТРУМУ В РЕЙКАХ6

В. И. ПРОФАТИЛОВ (ДИИТ)

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ РЕЛЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ11

JERZY MIKULSKI (Technical University of Silesia, Institute of Transport)

METHODS OF ACCEPTANCE TESTS OF RAILWAY TRAFFIC CONTROL EQUIPMENT IN POLAND.....16

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ, О. В. КОПТИЛАЯ (ДИИТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АММИАКОМ
С ПОМОЩЬЮ ЖИДКИХ ЗАВЕС21

Н. Н. БЕЛЯЕВ (ДИИТ), Н. С. ЗЫОНГ (Институт механики, Ханой, Вьетнам)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПРИ АВАРИЙНОМ СХОДЕ ЦИСТЕРН26

О. А. ИВАСЮК, А. Н. ПШИНЬКО, В. Н. ПЛАХОТНИК, Ю. Л. ЗАЯЦ (ДИИТ)

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ БЕТОНОВ В РАСТВОРАХ БОРФОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЫ30

В. Н. ПЛАХОТНИК, Л. А. ЯРЫШКИНА, А. Н. БОЙЧЕНКО (ДИИТ)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ АВАРИЯХ С ОПАСНЫМИ И ТОКСИЧНЫМИ ГРУЗАМИ33

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

Н. Г. ВИСИН, Б. Т. ВЛАСЕНКО, А. И. КИЙКО (ДИИТ)

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
РЕГУЛИРУЕМЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА
СО СТАТИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ36

Г. К. ГЕТЬМАН, С. В. АРПУЛЬ (ДИИТ)

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЬНОЙ ТЯГИ41

Л. В. ДУБИНЕЦЬ, О. І. МОМОТ (Придніпровська залізниця)

ВПЛИВ УНІФІКАЦІЇ РЕЛЕЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
РУХОМИМ СКЛАДОМ45

М. О. КОСТІН, В. В. АРТЕМЧУК (ДІТ)

ІМОВІРНІСНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ КОРПУСІВ БУКС ЕЛЕКТРОВОЗІВ48

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

В. І. БОРЦОВ, М. К. ЖУРБЕНКО, О. С. РАСПОПОВ, Б. Д. СУХОРУКОВ (ДІТ)

КОЛИВАННЯ ПРОГІННИХ БУДОВ ТИПУ 690/7К ПІД ЧАС РУХУ ПО НИМ ПОЇЗДІВ
ІЗ ПОРОЖНІХ ПІВВАГОНІВ53

А. В. ГРИШИН (Одесский национальный морской университет), Б. В. САВЧИНСКИЙ (ДИИТ)

СОВМЕСТНЫЙ РАСЧЕТ УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ И ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ
ОТ КИНЕТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ62

М. Б. КУРГАН (ДІТ)

РОЗРОБКА МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРЕБУДОВИ ДІЛЯНКИ ЗАЛІЗНИЦІ
ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ66

В. В. РИБКІН, М. Б. КУРГАН, Н. В. ХАЛПОВА (ДІТ), В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця) ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ БАР'ЄРНИХ МІСЦЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЦІ	74
---	----

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОЛОГІЇ»

В. А. АНДРЮЩЕНКО, В. В. СКАЛОЗУБ (ДІИТ), В. В. ВЕЛИКОДНЫЙ (Укрзалізниця), С. Ю. ЦЕЙТЛИН (Информационно-статистический центр Приднепровской ж. д.) ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ ИНОСТРАННЫХ СОБСТВЕННИКОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	84
А. А. БОСОВ, Е. А. МОМОТ (ДІИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА	91
І. М. КУКУШКІНА (ДІТ) МОДЕЛЬ ПЛАНУ РОЗПОДІЛУ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ ПІД НАВАНТАЖЕННЯ	95
Т. Ф. МИХАЙЛОВА (ДІТ), О. В. ПІСКУНОВА, О. А. РЯДНО (ДФЕІ), П. І. ПРИХОДЬКО (ДХК «Павлоградвугілля») ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПО ТРАНСПОРТУВАННЮ ТА ПЕРЕРОБЦІ СИРОВИНИ	99

РОЗДІЛ «РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

М. І. КАПЦА (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ НАПРАЦЮВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТЕД ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ	102
И. Е. ЛЕВИЦКИЙ (Управление Одесской железной дороги) РАСЧЕТ ТАРИФА ЗА УСКОРЕННУЮ ДОСТАВКУ ГРУЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ	105
А. Л. ПУЛАРИЯ, О. В. ШАТУНОВ, М. А. ГРІЧАНІЙ (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛАСТОМЕРНИХ ПОГЛИНАЮЧИХ АПАРАТІВ ТИПУ ЕПУ-2, ВСТАНОВЛЕНИХ НА ВАГОНАХ ШВИДКІСНОГО ПОЇЗДА	110

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

А. М. БОНДАРЕВ (ДІИТ) ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕСА ПОЕЗДА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАПРУЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК	113
В. Л. ГОРОБЕЦ (ДІИТ) ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА ВЫНОСЛИВОСТИ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПО РАЗРУШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	116
И. В. КЛИМЕНКО (ДІИТ) СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТЕЛЕЖЕК ЛОКОМОТИВОВ	123
С. А. КОСТРИЦА (ДІИТ) ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ К ЗАДАЧАМ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	127

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

Д. О. БАННИКОВ, М. И. КАЗАКЕВИЧ (ДІИТ) НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕСТКИХ СТАЛЬНЫХ БУНКЕРОВ	130
В. Е. ВОЛКОВА (ДІИТ) ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМ С НЕСИММЕТРИЧНЫМИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫМИ УПРУГИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	137

Б. Г. КЛОЧКО (ДИИТ), Д. В. ГОРИДЬКО, В. В. ПУНАГИН (ПГАСиА) УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕМ В АКТИВИРОВАННОМ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ БЕТОНЕ.....	142
М. Д. КОСТЮК (Укрзалізниця), О. М. ПШНЬКО, В. Д. ПЕТРЕНКО, С. В. ЦЕПАК (ДІТ) ОБГРУНТУВАННЯ НАУКОВИХ НАПРЯМКІВ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ ПРИ ПІДВИЩЕННІ ШВИДКОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ	149
А. В. РАДКЕВИЧ (ДІТ) АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІДПРИСМСТВАМИ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	153

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

Ю. С. БАРАШ (ДІТ) АНАЛІЗ РЕФОРМУВАННЯ СТРУКТУР УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ У РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ ЄВРОПИ	158
Т. А. МУКМІНОВА (Укрзалізниця) ЕФЕКТИВНІСТЬ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЕКОНОМІЧНИХ ВІДНОСИН НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ.....	163
А. А. ПОКОТИЛОВ (ДИИТ) ЭКОНОМИКО-ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННО НОВОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СООБЩЕНИЙ СНГ В УСЛОВИЯХ СТАНОВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО РЫНОЧНОГО ХОЗЯЙСТВА.....	168
Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДІТ) ТЕМПІ РЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ ОКРЕМИХ ДЕРЖАВ СВІТУ	170

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА РОБОТУ РЕЙКОВИХ КІЛ І МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТІКАННЯ ТЯГОВОГО СТРУМУ В РЕЙКАХ

На основі аналізу літературних даних наведено уточнену математичну модель, що описує електромагнітні процеси в рейкових колах під час проходження по ним електрифікованого рухомого складу. Модель враховує індуктивний вплив струму в контактному проводі та розтікання струму в землі. Проведено розрахунки зворотного тягового струму в рейках і потенціалу рейок на ділянці між локомотивом та тяговою підстанцією. Наведено аналіз результатів.

На основе анализа литературных данных приведена уточненная математическая модель, которая описывает электромагнитные процессы в рельсовых цепях при прохождении по ним электрифицированного подвижного состава. Модель учитывает индуктивное влияние тока в контактном проводе и растекание тока в земле. Проведены расчеты обратного тягового тока в рельсах и потенциала рельсов на участке между локомотивом и тяговой подстанцией. Приведен анализ результатов.

On the basis of literature data analysis, an updated mathematical model has been developed, which describes electromagnetic processes in rail circuits during movements of electrified rolling stock. The model takes into account inductive influence of current in the contact wire and the current flowing in the ground. Calculations have been provided of reverse tractive current in the rails and the potential of rails on the section between the locomotive and tractive substation. The results of the analysis have been presented.

Вступ

Електрифіковані залізниці є потужним джерелом електромагнітних завад у прилеглий зоні, що може викликати нестабільну роботу пристроїв залізничної автоматики та зв'язку [1–10]. Проблема особливо актуальна в зв'язку з розробкою в останні роки нових типів рухомого складу (електровозів, вагонів з імпульсними електронними перетворювачами) [5–10] з одного боку та впровадженням нових комп'ютерно-інформаційних систем регулювання рухом поїздів (мікропроцесорної диспетчерської і комп'ютерної централізації, автоблокування, мікропроцесорної локомотивної сигналізації і т. д.) з іншого боку. Для забезпечення безпеки руху поїздів необхідно враховувати можливий вплив потенційних джерел електромагнітних завад на пристрої керування рухом поїздів як на стадії розробки і проектування, так і під час вводу в експлуатацію нових типів електрорухомого складу та систем залізничної автоматики, з проведенням широких експлуатаційних випробувань на основі затверджених нормативних документів. Для цього необхідно визначити параметри та рівні електромагнітних завад від тягового електропостачання, небезпечні для даного типу систем залізничної автоматики, ув'язав їх з концепцією побудови безпечних систем автоматики [9].

Для розрахунків впливу електрифікованих залізниць на лінії електричного зв'язку використовуються застарілі методики, що не враховують технічне переоснащення галузі [10], у той час як для оцінки впливу тягового електропостачання на системи залізничної автоматики взагалі не визначено норми заважаючого та небезпечного впливу.

Мета та задачі досліджень

Метою роботи є визначення науково обґрунтованих рівнів заважаючого та небезпечного впливу електрифікованих залізниць на рейкові кола. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити низку задач. У даній публікації на основі всебічного аналізу літературних даних наведено математичну модель, що описує електромагнітні процеси в рейкових колах під час проходження рухомого складу. Питання розподілення струму та потенціалу в рейкових нитках розглянуто в різних аспектах у літературі. У роботі це питання розглянуто з точки зору визначення заважаючих та небезпечних рівнів. На основі наведеної моделі проведено розрахунки та приведено аналіз отриманих результатів.

Математична модель

Змінна напруга та струм, що протікає в контактному проводі під час руху електровоза, наводить у рейкових колах електростатичні потенціали відносно землі (електричний вплив) та продольну електрорушійну силу (ЕРС), яка викликає протікання в рейках струму (магнітний вплив). Зворотний тяговий струм, що протікає по рейках, також є джерелом завад для пристроїв залізничної автоматики (кондуктометричний вплив). Оскільки рейки не мають достатньої ізоляції від землі, то частина тягового струму стікає з рейок у землю. Таким чином, система є багатопровідною і для її аналізу здебільше використовується теорія багатопровідних довгих ліній та багатополісників [2–5; 11].

На рис. 1 наведено схему протікання тягового струму для одноколійної ділянки залізниці довжиною L між підстанцією ТР з координатою $X = L$ і електровозом D з координатою $X = 0$. Нульова лінія відповідає провідності землі, перший і другий провід – рейковим ниткам з потенціалами відносно землі відповідно U_1, U_2 , а третій – контактному проводу з потенціалом U_3 . Комплексні провідності між рейковими нитками та часткові провідності між кожною рейковою ниткою та землею позначені, відповідно Y_{12}, Y_{10} і Y_{20} . Оціночні розрахунки показують, що активна і ємнісна провідності між контактним проводом та рейками є незначними і ними можна знехтувати.

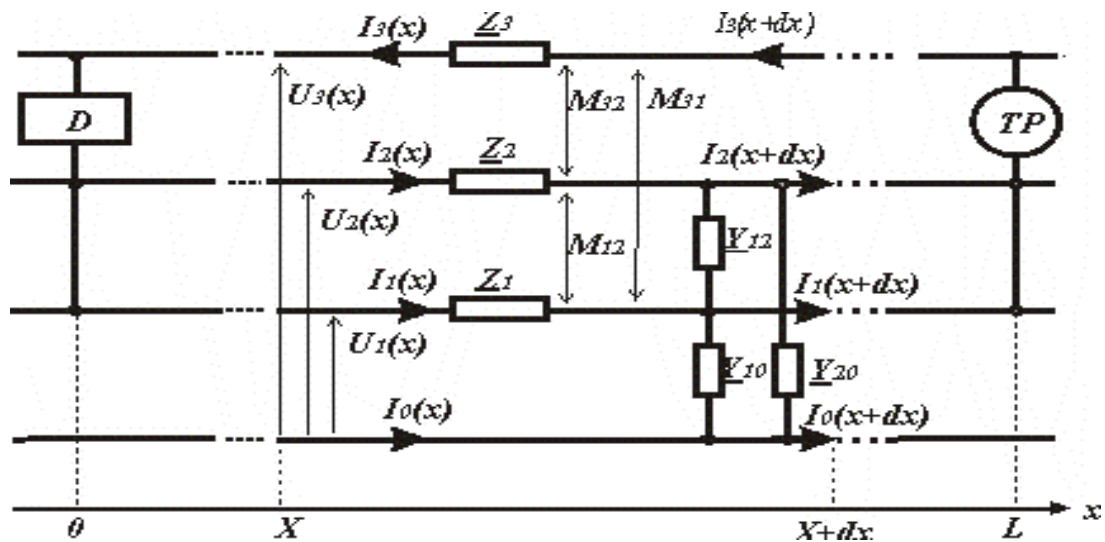


Рис. 1. Схема протікання тягового струму між підстанцією і локомотивом

Використовуючи традиційний підхід для описання змін струмів і напруг на елементі системи довжиною dx [2], запишемо відомі диференціальні рівняння:

$$\frac{d\dot{U}_1}{dx} = \underline{Z}_{11}\dot{I}_1 + \underline{Z}_{12}\dot{I}_2 - \underline{Z}_{13}\dot{I}_3, \quad (1)$$

$$\frac{d\dot{U}_2}{dx} = \underline{Z}_{21}\dot{I}_1 + \underline{Z}_{22}\dot{I}_2 - \underline{Z}_{23}\dot{I}_3, \quad (2)$$

$$\frac{d\dot{U}_3}{dx} = \underline{Z}_{31}\dot{I}_1 + \underline{Z}_{32}\dot{I}_2 - \underline{Z}_{33}\dot{I}_3, \quad (3)$$

$$\frac{d\dot{I}_1}{dx} = -\underline{Y}_{11}\dot{U}_1 + \underline{Y}_{12}\dot{U}_2, \quad (4)$$

$$\frac{d\dot{I}_2}{dx} = \underline{Y}_{21}\dot{U}_1 - \underline{Y}_{22}\dot{U}_2, \quad (5)$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0, \quad (6)$$

де $\dot{I}_3, \dot{I}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_0$ – відповідно, струм в контактному проводі, першій і другій рейкових нитках та землі; $\underline{Z}_{11} = R_1 + jX_{L1}$, $\underline{Z}_{22} = R_2 + jX_{L2}$, $\underline{Z}_{31} = R_3 + jX_{L3}$ – комплексні опори першої і другої рейкової нитки і контактного проводу; $Y_{11} = Y_{12} + Y_1$, $Y_{11} = Y_{22} + Y_2$. При написанні цих рівнянь знехтували впливом сигнального струму на струм у контактному проводі. Очевидно для двоколійної ділянки залізниці кількість рівнянь зросте вдвічі.

Значення активного та реактивного опору рейкової нитки для частот, що використовуються в залізничній автоматичі, визначено ек-

спериментально та наведено в літературі [2–4].

Для інших частот ці значення можна визначити на основі формул Л. Неймана, що дають достатньо задовільне співпадіння з експериментальними даними [2–4]. Згідно з теорією Л. Неймана активний R та реактивний X_l опір прямолінійного ферромагнітного провідника визначається за формулами, що враховують як нерівно – мірність розподілу струму в перетині рейки, так і гистерезисний ефект у сталі [2–4]

$$R = \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad X_l = 0,6 \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad (7)$$

де l – довжина провідника, u – периметр його перетину; ρ – питомий опір рейкової сталі; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота; μ_e – магнітна проникцєвність рейкової сталі, що визначається по кривій намагнічення.

Повний питомий опір рейкової нитки (на 1 км довжини) можна визначити за формулою

$$Z = (r + r_c) + (X_i + X_c), \quad (8)$$

де r – активний опір рейкової нитки довжиною 1 км (без з'єднувачів); r_c – опір рейкових з'єднувачів на 1 км рейкової нитки; X_i – реактивний опір рейкової нитки довжиною 1 км (без з'єднувачів); X_c – реактивний опір рейкових з'єднувачів (на 1 км рейкової нитки).

Взаємну індуктивність між рейками та між рейкою і контактним проводом можна визначити за відомою формулою, мГн, [2–4]

$$M_{ij} = 0,1 \left[1 + 2 \ln \frac{2}{1,78(a-r)\sqrt{4\pi\sigma u}} - j \frac{\pi}{2} \right]. \quad (9)$$

Схема протікання зворотного тягового струму в рейках на довжині одного рейкового кола пояснюється рис. 2.

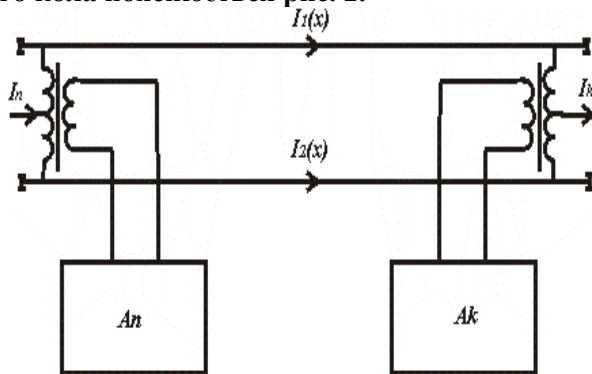


Рис. 2. Схема протікання зворотного тягового струму в рейках

Чотириполосники A_n та A_k , що підключені до дросель-трансформаторів, відповідають апаратурі живлячого та релейного кінця рейкової лінії. Чотириполосник A_k складається з послідовно з'єднаних чотириполосників, що для кодового рейкового кола з сигнальним струмом 25 Гц відповідають послідовно з'єднаним узгоджувачим трансформом та фільтром Ф25, на виході якого підключено обмотку реле. Напряга перешкоди U_k на виході рейкового кола дорівнює

$$U_k = \frac{1}{2} Z_k (I_2 - I_1) = K_a Z_k \frac{I_R}{2}, \quad (10)$$

де Z_k – вхідний опір дросель-трансформатора, з підключеною на виході апаратурою релейного кінця A_k , K_a – коефіцієнт асиметрії, I_R – сумарний зворотний тяговий струм, що протікає в двох рейках. Коефіцієнт асиметрії складається з коефіцієнтів продольної K_z та поперечної K_g асиметрії [2–4]

$$K_z = 2 \frac{|Z_2 - Z_1|}{Z_1 + Z_2 + Z_n + Z_k} \approx 2 \frac{|Z_2 - Z_1|}{Z_1 + Z_2}, \quad (11)$$

$$K_g = \frac{|g_2 - g_1|}{g_1 + g_2}. \quad (12)$$

Більш детальний аналіз впливу асиметрії буде даний у наступній публікації. Проведемо аналіз протікання зворотного тягового струму в рейках. Для спрощення будемо вважати, що сума струмів в рейках і сума напруг на них не залежить від асиметрії. У випадку малої асиметрії диференціальні рівняння (1–6) мають просте рішення для сумарного струму в рейках I , та середньої напруги на рейках U

$$U = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x}, \quad (13)$$

$$I = m I_3 - \frac{2}{Z_c} (C_1 e^{\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x}), \quad (14)$$

$$m = \frac{Z_{31}}{Z_1 + Z_{21}}. \quad (15)$$

Константи інтегрування можна одержати з граничних умов:

$$I(x=0) = I_3 - \frac{2U(x=0)}{Z_{in}}, \quad (16)$$

$$I(x=L) = I_3 + \frac{2U(x=L)}{Z_{2in}}, \quad (17)$$

де Z_{1in} та Z_{2in} – вхідні опори розімкнутої на кінці лінії «рейкова нитка–земля».

При розрахунках струму більш зручно користуватися безрозмірним коефіцієнтом протікання зворотного тягового струму в рейках

$$K_p = I/I_3.$$

Результати моделювання

За отриманими формулами були проведені розрахунки, результати яких для чотирьох значень поперечної провідності наведено на рис. 3, 4.

Як видно з рис. 3 коефіцієнт розтікання зворотного тягового струму має найбільші значення при $x=0$ і $x=1$, відповідно в місці розташування локомотива та місці підключення фідера тягової підстанції до рейок. У середині проміжку між локомотивом і підстанцією струм зменшується тим більше, чим більша провідність між рейками та землею. Але якщо при електротязі постійного струму коефіцієнт протікання струму в рейках в середині ділянки спадає майже до нуля, то при тязі змінного струму тільки до 0,5. Це пояснюється значним електромагнітним впливом контактного проводу на рейки, що приводить до появи в рейках індуктивно наведеного струму. Відносний потенціал рейок монотонно зменшується при збільшенні координати від $x=0$ до $x=1$ (рис. 4).

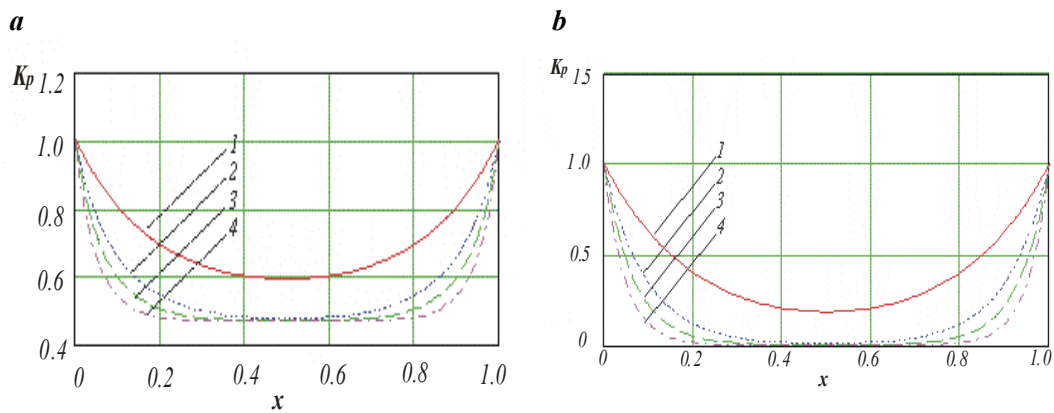


Рис. 3. Залежність коефіцієнта розтікання зворотного тягового струму в рейках при електротязі змінного (а) і постійного (б) струмів від відносної координати $x = X/L$ для значень питомої поперечної провідності між рейками (в См): 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 2,0

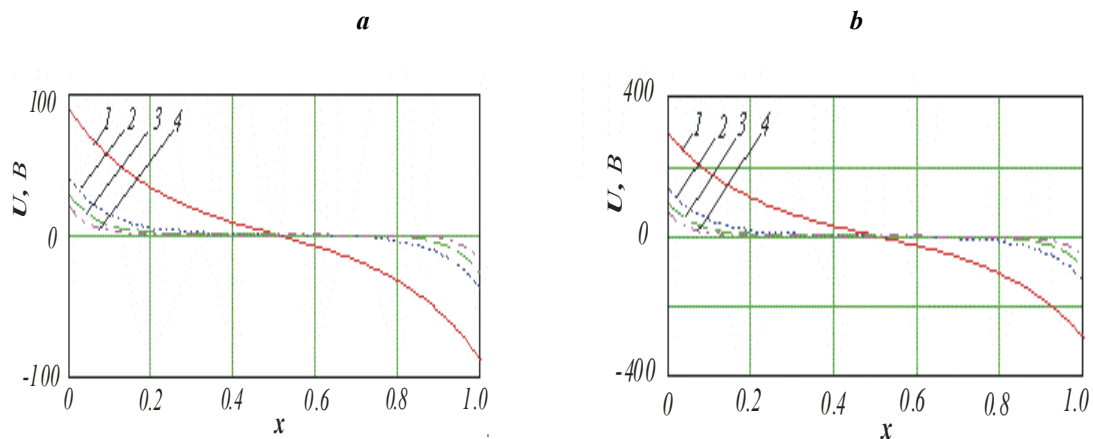


Рис. 4. Залежність відносного середнього потенціалу рейки при електротязі змінного (а) і постійного (б) струмів від відносної координати $x = X/L$ для значень питомої поперечної провідності між рейками та землею (в См): 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 2,0

Висновки

На основі аналізу літературних даних наведено уточнену математичну модель, що описує електромагнітні процеси в рейкових колах під час проходження по ним електрифікованого рухомого складу. Модель враховує індуктивний вплив струму в контактному проводі та розтікання струму в землі.

Проведено розрахунки зворотного тягового струму в рейках і потенціалу рейок на ділянці між локомотивом та тяговою підстанцією. Коефіцієнт розтікання зворотного тягового струму має найбільші значення при $x=0$ і $x=1$, відповідно в місці розташування локомотиву та місці підключення фідера тягової підстанції до рейок. У середині проміжку між локомотивом і підстанцією струм зменшується тим більше, чим більша провідність між рейками та землею. При електротязі змінного струму спостерігається значний електромагнітний вплив струму в контактному проводі на рейкові кола. потенціал рейок монотонно зменшується при збільшенні координати від $x=0$ до $x=1$.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т. 1. / Под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.
2. Брылеев А. М., Котляренко Н. Ф. Электрические рельсовые цепи. – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
3. Путевая блокировка и авторегулировка: Учебник для вузов // Котляренко Н. Ф., Шишляков А. В., Соболев Ю. В. и др. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.

4. Аркатов В. А., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
5. Пиньон Ж. Защита от электромагнитных влияний электрических железных дорог // Железные дороги мира. – 1990. – № 1. – С. 23–27.
6. Костроминов А. М. Об электромагнитной совместимости рельсовых цепей с перспективным электроподвижным составом // Автоматика, телемеханика и связь. – 1989. – № 6. – С. 33–34.
7. Костроминов А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех. – М.: Транспорт, 1997. – 192 с.
8. Бялонь А. Значения допускаемых помех тягового электроподвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. – 2001. – № 5. – С. 44–48.
9. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Талалаев В. И. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики. – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.
10. Васильев О. К., Ермоленко Д. В., Павлов И. В. и др. Основные положения методики расчета мешающего влияния в новых «Правилах защиты устройств проводной связи от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог постоянного тока» // Вестник ВНИИЖТ. – 1997. – № 3. – С. 16–19.
11. У Де-Фань. Применение теории преобразования модулей к расчету мешающего влияния электрифицированных железных дорог // Вестник ВНИИЖТ. – 1995. – № 5. – С. 16–21.

Надійшла до редколегії 10.10.03.

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

У даній статті запропоновано метод автоматизованого вимірювання контактної тиску реле залізничної автоматики. Метод ґрунтується на особливостях конструкції електромагнітних реле залізничної автоматики, в яких відпадання якоря здійснюється під дією власної ваги якоря. Даний метод дозволяє вирішити комплексну задачу автоматизації вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до експлуатаційно-технічних вимог до реле першого класу надійності.

В данной статье предложен метод автоматизированного измерения контактного давления реле железнодорожной автоматики. Метод основывается на особенностях конструкции электромагнитных реле железнодорожной автоматики, в которых отпадение якоря осуществляется под действием собственного веса якоря. Данный метод позволяет решить комплексную задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности.

A method of the automated measuring of contact pressure of railway automatics relay is offered in the article. The method is based on the design features of railway automatics electromagnetic relays, in which the falling of the armature occurs under the action of its own weight. The presented method allows to solve the complex task of railway automatics electromagnetic relays mechanic parameters measuring automation without removal of the casing, in accordance with the operational and technical requirements to the first class reliability relays.

Введение

Электромагнитные реле железнодорожной автоматики первого класса надежности используются для построения устройств, обеспечивающих безопасность движения поездов. Для обеспечения надежной и безотказной работы реле первого класса надежности эксплуатируются с учетом специальных эксплуатационно-технических требований (ЭТТ) [1]. Для обеспечения соответствия ЭТТ реле периодически проверяются и регулируются по всему комплексу параметров. Существующая технология проверки параметров реле железнодорожной автоматики морально и технически устарела и не обеспечивает необходимое качество обслуживания устройств железнодорожной автоматики, а также требует большого количества ручных операций, что приводит к значительным затратам времени на проверку реле. Статистические исследования, проведенные на кафедре АТС ДИИТа, показали, что до 10 % реле первого класса надежности выпускаются в эксплуатацию с нарушением ЭТТ [2]. Резервы повышения качества проверки реле и производительности труда при использовании существующей технологии практически исчерпаны, поэтому задача автоматизации процесса измерения параметров электромагнитных реле же-

лестнодорожной автоматики является актуальной.

В настоящее время измерение контактного давления производится в ручную с помощью граммометра часового типа Г-10-60. Контактное давление измеряют путем оттягивания фронтального или тылового контакта от общего, и отсчета показаний в момент их размыкания. Статистические наблюдения показывают, что недостатком данного способа измерения контактного давления является достаточно высокая погрешность (до 30 %), которая обусловлена как субъективностью при определении момента отсчета показаний, так и погрешностью самого граммометра. Попытки решения задачи автоматизации измерения контактного давления реле железнодорожной автоматики осуществлялись и ранее. В работе [3] авторы предлагали способ измерения контактного давления электромагнитных реле, построенный на базе токовихревого датчика положения якоря. Недостатком этого способа является то, что применение внешнего датчика позволяло создать только полуавтоматический стенд, так как датчик требовал индивидуальной калибровки и настройки для каждого измеряемого реле. К тому же обработка информации проводилась в аналоговой форме, что снижало точность получаемых результатов. В работе [4] предлагается способ

измерения давления тыловых контактов, основанный на зависимости значения тока в обмотке реле, в момент начала движения якоря при шунтировании обмотки, от значения давления тыловых контактов. Недостатком данного способа является то, что он не позволяет измерять давление фронтальных контактов реле, а также не дает возможность определить значение давления для каждого контакта реле.

Постановка задачи

Целью работы являлась разработка метода автоматизированного измерения контактного давления реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ для использования его в составе автоматизированного измерительного комплекса для контроля параметров реле железнодорожной автоматики, разрабатываемого на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» ДИИТа.

Разработанный метод автоматизированного измерения контактного давления основывается на особенностях конструкции электромагнитных реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ, в которых отпадание якоря осуществляется не под действием возвратной пружины, а под действием собственного веса якоря, значение которого известно.

Описание метода

Исходными данными для определения контактного давления являются параметры элементов конструкции реле (рис. 1): вес якоря Q , соотношение плеч якоря K , конструкция контактной системы. А также параметры, которые определяются с помощью автоматизированного измерительного комплекса для контроля параметров реле [5; 6]:

- зависимость положения якоря от времени $\delta(t)$, позволяющая определить моменты трогания и останова якоря, а также совместный ход каждой контактной группы;
- электромагнитная сила притяжения якоря F_3 , создаваемая электромагнитом реле.

Контактное давление P_k в реле НМШ и РЭЛ создается предварительным нажатием регулировочных пластин на фронтальные и тыловые контакты P_0 и силой реакции совместного хода контактных пружин ΔP_k :

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = cx_{\text{скр}} + cx_{\text{совм}}, \quad (1)$$

где c – жесткость контактных пружин; $x_{\text{скр}}$ – скрытый ход контакта, который он бы прошел, если бы он не опирался на регулировочную пластину; $x_{\text{совм}}$ – совместный ход фронтального (тылового) и общего контактов.

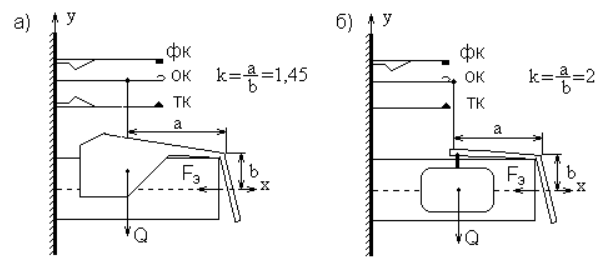


Рис. 1. Конструкция контактной системы:
а – реле НМШ; б – реле РЭЛ

Контактная пружина в реле НМШ и РЭЛ представляет собой упругую балку, заделанную одним концом и нагруженную сосредоточенной силой F на расстоянии X_F от места заделки пружины (рис. 2). Прогиб контактных пружин в сравнении с их длиной мал и не выходит за пределы упругой деформации, поэтому для расчетов можно использовать теорию изгиба упругой балки.

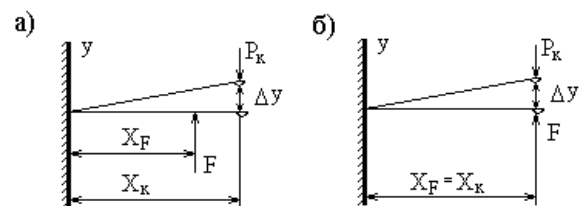


Рис. 2. Пружина общего контакта:
а – реле НМШ; б – реле РЭЛ

В месте приложения силы F величина изгиба контактной пружины будет равна

$$\Delta y_F = Fc_1, \quad (2)$$

где c_1 – жесткость контактной пружины на единицу силы, которая определяется следующим выражением:

$$c_1 = \frac{X_F^3}{3EJ}, \quad (3)$$

где X_F – расстояние от места заделки пружины до места приложения силы F ; E – модуль упругости материала (контактные пружины в реле НМШ и РЭЛ изготавливаются из фосфористой бронзы с $E = 11 \cdot 10^4$ Н/мм²); J – момент инерции пружины.

Момент инерции сечения плоской пружины равен

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (4)$$

где b – ширина пружины; h – толщина пружины.

Прогиб плоской пружины в любой точке, находящейся слева от точки приложения силы на расстоянии $X_1 < X_F$, будет равен:

$$\begin{aligned} \Delta y_{x_1} &= Fc_2, \\ c_2 &= \frac{x_1^2(3x_F - x_1)}{6EJ}, \end{aligned} \quad (5)$$

где x_1 – расстояние от места крепления пружины до точки изгиба пружины.

Прогиб пружины в точке, расположенной справа от точки приложения силы ($X_2 > X_F$), определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} \Delta y_{x_1} &= Fc_3, \\ c_3 &= \frac{x_F^2(3x_2 - x_F)}{6EJ}. \end{aligned} \quad (6)$$

Давление тыловых контактов в реле РЭЛ и НМШ создается весом якоря реле, поэтому при выключенном реле на пружины общих контактов действуют две силы – вес якоря Q и реакция пружин тыловых контактов $P_{км}$:

$$\sum_{i=1}^n P_{км_i} = Q \frac{x_F}{x_k}, \quad (7)$$

где n – количество тыловых контактов в реле; x_k – длина контактной пружины.

В реле железнодорожной автоматики типа РЭЛ все тыловые контакты расположены в один ряд и для них отсутствуют регулировочные пластины, поэтому давление тыловых контактов определяется только величиной совместного хода:

$$P_{км_i} = \frac{y_{mi}}{c_1}, \quad (8)$$

где y_{mi} – совместный ход i -го общего и тылового контактов реле, в месте их соприкосновения

$$y_{mi} = K x_{mi}, \quad (9)$$

где K – соотношение плеч якоря (для реле РЭЛ $K=2$); x_{mi} – перемещение якоря, измеряемое по оси сердечника, при котором тыловой и общий контакт были замкнуты.

В электромагнитном реле железнодорожной автоматики типа НМШ тыловые контакты расположены в два ряда, между которыми отсутствует жесткая связь, к тому же каждый тыловой контакт имеет свою регулировочную пластину. Давление тыловых контактов в реле НМШ создается двумя составляющими: $x_{скр}$ и $x_{совм}$. Значение скрытого хода контактов не поддается измерению косвенным методом. Для определения контактного давления с учетом предварительного нажатия P_0 , необходимо решить систему уравнений, полученную на основании выражения (7):

$$\begin{cases} P_{км1} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{m1}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \\ P_{км2} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{m2}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \\ \vdots \\ P_{кмn} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{mn}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \end{cases} \quad (10)$$

где y_{mi} – совместный ход тылового и общего контактов в месте их соприкосновения; n – количество тыловых контактов. Совместный ход тыловых контактов определяется следующим выражением:

$$y_{mi} = K K_1 x_{mi}; \quad (11)$$

$$K_1 = \frac{2 x_k^3}{x_F^2 (3x_k - x_F)}, \quad (12)$$

где K – соотношение плеч якоря (для реле НМШ $K=1,45$); K_1 – соотношение плеч между местом приложения силы F к пружине общего контакта и местом соприкосновения контактов (для реле НМШ $K_1=1,56$).

Для определения давления фронтальных контактов $P_{кф}$ необходимо знать электромагнитную силу притяжения якоря $F_я$ в момент останова якоря:

$$x_F (F_я - Q) = x_k \sum_{i=1}^n P_{кф_i}. \quad (13)$$

В реле НМШ и РЭЛ все фронтальные контакты имеют регулировочные пластины, поэтому

для определения контактного давления с учетом скрытого хода каждого контакта необходимо решить систему уравнений, полученную на основании выражения (13):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{к\phi 1} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\phi 1}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}} , \\ P_{к\phi 2} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\phi 2}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}} , \\ \vdots \\ P_{к\phi m} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\phi m}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}} , \end{array} \right. \quad (14)$$

где $y_{\phi i}$ – совместный ход фронтального и общего контактов в месте их соприкосновения; m – количество фронтальных контактов.

В реле РЭЛ $x_k = x_F$, поэтому совместный ход фронтальных контактов будет равен: $y_{\phi i} = K x_{\phi i}$, где $x_{\phi i}$ – перемещение якоря, измеренное по оси сердечника, при котором i -й фронтальной и общий контакты были замкнуты. Для реле НМШ совместный ход фронтальных контактов определяется так же, как и совместный ход тыловых контактов, аналогично выражению (11): $y_{\phi i} = K K_1 x_{\phi i}$.

Результаты экспериментальных измерений

В табл. 1 и 2 приведены обобщенные результаты экспериментальных измерений контактного давления граммометром часового типа и результаты вычислений контактного давления по предлагаемому методу для реле НМШ и РЭЛ. Так как граммометр часового типа дает высокую погрешность, то для получения более достоверных результатов измерение контактного давления для каждого контакта проводилось 50 раз, после чего вычислялось среднее значение. Для получения расчетных данных использовался экспериментальный образец автоматизированного измерительного комплекса для проверки параметров реле железнодорожной автоматики, разработанный на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» ДИИТа. Сравнительный анализ данных результатов показал, что отклонение вычисленного и измеренного значений контактного давления не превышает 3,6 % для фронтальных контактов и 2,3 % для тыловых контактов. Погрешность определения давления тыловых контактов меньше, так как вес якоря известен достаточно точно, а при определении давления фронтальных контактов необходимо вычислять электромагнитную силу притяжения якоря F_3 , что увеличивает погрешность вычислений в 1,5...2 раза.

Таблица 1

Результаты измерения контактного давления для реле НМШ1-1800

№ контакта	Совместный ход контактов		Экспериментальные данные		Расчетные данные	
	тыловых	фронтальных	тыловые	фронтальные	тыловые	фронтальные
	y_{mi} , мм	$y_{\phi i}$, мм	$P_{кт}$, Н	$P_{к\phi}$, Н	$P_{кт}$, Н	$P_{к\phi}$, Н
1	0,78	0,86	0,2156	0,4782	0,2198	0,4889
2	1,15	0,94	0,3195	0,5194	0,3228	0,5294
3	1,05	0,96	0,2901	0,5312	0,2958	0,5504
4	0,84	0,93	0,2332	0,5155	0,2367	0,5332
5	0,87	0,92	0,2411	0,5135	0,2451	0,5275
6	0,70	0,91	0,1940	0,5076	0,1972	0,5174
7	1,12	0,86	0,3097	0,4763	0,3156	0,4631
8	0,69	0,97	0,1921	0,5390	0,1944	0,5561

Результаты измерения контактного давления для реле РЭЛ1-1600

№ кон-такта	Совместный ход контактов		Экспериментальные данные		Расчетные данные	
	тыловых	фронтowych	тыловые	фронтowych	тыловые	фронтowych
	y_{mi} , мм	y_{fi} , мм	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н
1	0,78	0,72	0,1882	0,4057	0,1915	0,3969
2	0,77	0,99	0,1862	0,5645	0,1890	0,5457
3	0,79	0,83	0,1921	0,4684	0,1939	0,4575
4	0,89	0,81	0,2136	0,4567	0,2185	0,4465
5	0,76	0,67	0,1842	0,3763	0,1866	0,3693
6	0,80	0,78	0,1940	0,4410	0,1964	0,4300
7	–	0,76	–	0,4312	–	0,4186
8	–	0,84	–	0,4763	–	0,4631

Данный метод позволяет достаточно точно решить задачу автоматизированного измерения контактного давления для нормально действующих реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ. К достоинствам данного метода измерения контактного давления можно отнести увеличение точности и уменьшение субъективности получаемых результатов, а также уменьшение времени на измерение контактного давления за счет того, что отпадает необходимость проводить измерения для каждого контакта отдельно и снимать кожу с реле.

Выводы

Разработанный метод автоматизированного измерения контактного давления нейтральных реле типов НМШ и РЭЛ реализован в виде программного обеспечения, функционирующего в составе автоматизированного измерительного комплекса для контроля параметров реле. Данный метод позволяет решить комплексную задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожу с соответствия с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности. Оценка погрешности вычисления контактного давления реле позволяет использовать метод на практике вместо существующей технологии проверки реле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подгайченко М. С., Ягудин Р. Ш. Эксплуатационно-технические требования к реле СЦБ // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 9. – С. 19–20.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2. Отчет по НИР / ДИИТ. – № 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Разгонов А. П., Кизяков В. Я., Байдуж А. Н. Способ измерения контактного давления электромагнитных реле // Пути повышения производительности труда на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. науч. тр. вып. 189/36. – Ташкент, 1984. – С. 59–63.
4. Пат. 40396А Украина, МКИ Н01 Н49/00. Спосіб вимірювання контактного натискання замикаючих контактів електромагнітного нейтрального реле залізничної автоматики: Пат. 40396А Україна, МКИ Н01 Н49/00/ В. І. Гаврилюк, В. І. Профатилов. – № 2001010026; Заявлено 03.01.2001; Опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6. – 3 с.
5. Гаврилюк В. И., Профатилов В. И. Автоматизация контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 4, 5. – С. 83–86.
6. Профатилов В. И., Гаврилюк В. И. Методика измерения механической характеристики реле железнодорожной автоматики // Сб. тр. 7 Международной конференции ж.-д. специалистов ЮЖЕЛ. – Белград (Югославия). – 2000. – С. 175–178.

Поступила в редколлегию 10.10.03.

METHODS OF ACCEPTANCE TESTS OF RAILWAY TRAFFIC CONTROL EQUIPMENT IN POLAND

В даній статті наведено метод обслуговування та тестування колійних пристроїв автоматики, що використовуються на залізницях Польщі. Періодичність технічного обслуговування обладнання визначено відповідно вимогам міжнародних стандартів. Наведено результати перевірки колійних пристроїв автоматики, що була виконана відповідно цим вимогам.

В данной статье представлен метод обслуживания и тестирования путевых устройств железнодорожной автоматики, используемых на железных дорогах Польши. Периодичность технического обслуживания оборудования определена в соответствии с требованиями международных стандартов. Представлены результаты проверки напольных устройств автоматики, выполненной в соответствии с этими требованиями.

The paper presents method of carrying out and scope of tests preceding acceptance of railway traffic control equipment for application in Polish State Railway (PKP). Terms of commissioning of equipment manufactured for railways are imposed by international standardization committees. The method of testing presented results from these recommendations.

Introduction

The railways commonly use technical systems aimed at maintaining a reliable and safe traffic handling. Correct operation of railway transport is largely dependent, among other factors, of reliability level of elements and devices and the entire railway traffic control systems. Generally, the term reliability means ability to maintain predetermined parameters in certain operating conditions and within the preset time of operation. A function of railway traffic control system reliability is performance and safety of railway traffic itself.

Because of safety and in accordance with the present mandatory provisions (protection against collision resulting in protection of human life), equipment and systems of railway traffic control belong to a group of required very high reliability level. Thus, the development of railway traffic control systems required definition of principle of safe system construction. For this purpose, a principle of «fail-safe» was formulated.

Requirements concerning safety of the systems depend of their application (especially of their influence over reliability and safety of railway traffic). The railway traffic control systems (not to be confused with train traffic control, belonging to a so called supervisory system), having a direct influence on traffic safety are devices belonging to a so-called primary level, and namely:

- station switching equipment
- line blocks
- level crossing signals

- train location systems

The above named systems operates on railways for many years and they are produced (depending of technical progress at the time of their installation and present needs of this particular railway line at the time) in various technologies. However, these technological differences put aside, they have to co-operate.

The aim of this paper is the analysis of method of carrying out and scope of tests preceding acceptance of railway traffic control equipment and development of recommendations concerning terms of commissioning of this equipment.

Safety and reliability in accordance with the European standards

The fail safe principle assumes for all equipment, from mechanical to relay based ones, that a safe system should be constructed in such a way as to ensure that a single malfunction of any of its subassemblies (element of the system) results in lighting a more safe light on the signal (for example, burning out of a green light should result in lighting of orange light).

Introduction of modern (frequently now based on computer technique) railway traffic control equipment, ensuring high operational safety of the entire systems increase safety requirements.

Implementation of this technology required a new definition of safety principles for railway traffic control systems. First of all, in this case, besides the safety of equipment part of the system (hardware) also software safety must be taken into ac-

count. Secondly, these systems are built in a system and software redundancy and with «voting» output systems (such as 2 of 3).

In a shortest way, we may say about these systems' safety that in accordance with European standards, we assume a probability of occurrence of a single malfunction and on this basis SIL – Safety Integrity Levels are determined – Tab. 1. This analysis is to be performed by investigating causes and possibilities of occurrence of each particular malfunction and determination of probability of such occurrence. This analysis is a responsibility of railway traffic control equipment manufacturer.

Table 1

Safety integrity levels of railway traffic control equipment			
Safety Integrity Level SIL	Description of safety integrity level	System characteristics	Effects of malfunction
4	Very high	Railway traffic control	Loss of life or health
3	High	Check of train's completeness	Wounds
2	Medium	Railway traffic handling	Contamination of environment
1	Low	Passengers' information	Damaging of system's properties
0	Not related with safety	Railway management	Lack of effects

Whereas the railways' responsibilities include:

- determination of functional requirements (independently of technical realization);
- determination of acceptable risks.

Regardless of technical solution applied, the reliability requirements for railway traffic control equipment impose on their operators an obligation to perform acceptance tests, as well as monitoring of equipment's operation during its normal work.

For the safety's sake, the railways always used to apply its internally developed, own requirements for railway traffic protection equipment. These requirements were applicable both for tests of equipment to be used in railways, and also for tests during operation of this equipment.

Reliability requirements, as well as technical parameters and technical conditions of perform-

ance and commissioning of all equipment produced for railways (including railway traffic control equipment) are determined by the provisions of International Association of Railways UIC and European Standardization Committees CEN and CENELEC [1; 2]. These provisions determine also methods for acceptance and operational tests. In Poland, the principles governing issuance of certificates of operational acceptance for railway traffic control equipment are established in an Ordinance of the Minister of Transportation [3]. The Ordinance uses a term «equipment designed for railway traffic handling». In Poland such certificates are issued by the Chief Inspectorate of Railways (GIK). The railways management applies for issuance of operational acceptance certificate to the Chief Inspectorate of Railways, enclosing results of tests performed by an organization unit authorized to perform such tests as are necessary to obtain an operational acceptance certificate [4–6].

Following the above mentioned Ordinance, the acceptance tests for railway traffic control equipment (both for laboratory and experimental tests) including besides European Standards also requirements of Polish Standards and Branch Standards are performed by the Institute of Transportation at Technical University of Silesia, as an independent (mainly from manufacturers) scientific and research body authorized for carrying out the tests. The Ordinance mentions also the Railway Scientific and Technical Center (CNTK) in Warsaw where the railway traffic control equipment is concerned.

Obtaining an operational acceptance certificate is preceded by the following test and inspection procedure:

- review of manufacturer's application;
- review of documents of quality assurance;
- specification of requirements for the system;
- ascertaining of safety proof and its verification;
- preparation of a normative document;
- preparation of environmental and functional test program;
- carrying out the tests;
- test report that should include the following:
 - fulfillment of climatic conditions, temperature, humidity;
 - fulfillment of mechanical conditions: vibrations, impacts;

- fulfillment of electrical conditions: voltage variation, electromagnetic noise, electrical traction;
- fault analysis: FTA (fault tree), FMEA (fault effects);
- preparation of opinion about the equipment.

Laboratory tests performed on real railway traffic control equipment are not always possible to be carried out, and their results may not be reliable enough to be «transferred» to normal operation. Whereas the tests performed in «real» operating conditions on railway lines are (mainly because of safety reasons), very difficult and time-consuming.

A good compromise is overlapping of both method of tests and inspections. Such a possibilities are provided by an experimental site of Polish State Railway consisting of an experimental track in Żmigród. The tests performed on an experimental track may take place in conditions close to real ones and do not collide with the normal railway traffic (and vice versa) while the duration of test cycle is shortened and there exist a possibility to test at the same time various engineering designs of railway traffic control equipment from various manufacturers.

The acceptance tests are completed by the Chief Inspectorate of Railways issuing an operational acceptance certificate for a given piece of equipment or railway traffic control system. The applicable standards recommend to use the term „safeness» as a property characterized by the fact that a malfunction does not create hazardous situa-

tion [7; 8]. This certificate, together with a safeness statement issued by the manufacturer and with declaration about compliance with standards, authorizes application of this equipment on Polish State Railway. Issue of certificate do not release the manufacturer from his responsibility for safety of his product.

Foreign manufacturers provide their safeness statements in Polish. Safeness statement (prepared in a written form) contains, besides information concerning function of the equipment, determination of safe states and manufacturer’s operation recommendations related with safeness of the railway traffic control equipment, determination of risk level at potential malfunctions and list of tests carried out by the manufacturer together with equipment safeness analysis.

Acceptance tests require a mutual cooperation of manufacturer, the unit that performs the tests and the one that issues the operational acceptance certificate. It takes place in accordance with the recommended standards and so-called cyclic model of engineering a safe equipment. This model (fig. 1) takes into account the following phases: engineering, testing and operation. Each revision resulting from the remarked deviations from the required safeness requirements, malfunctions or even withdrawal of certificate requires return to the beginning of engineering. One has to be aware of the fact that a new version of equipment (after modification) does not necessarily have to obtain the certificate.

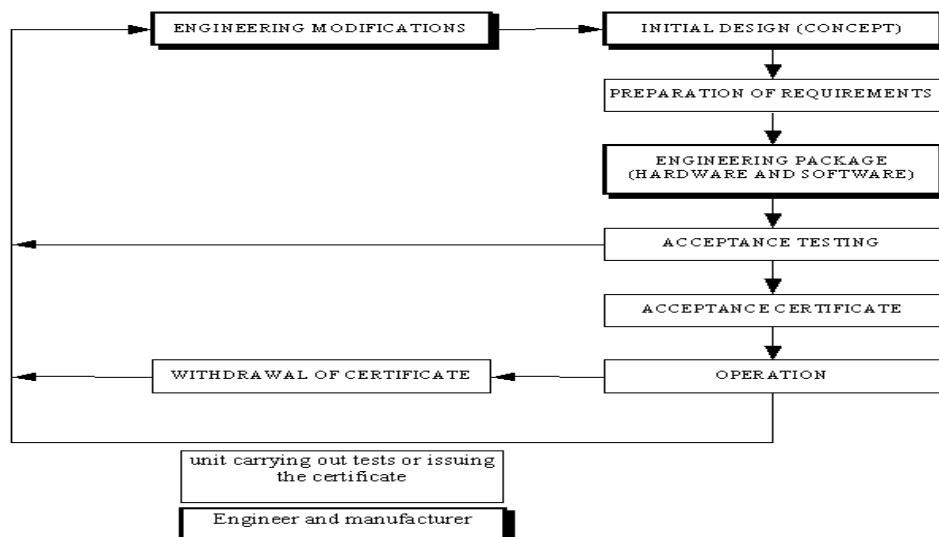


Fig.1. Cyclic engineering model

Method of testing

Method of testing should determine normal operating conditions (sometimes different for various

pieces of equipment), such as ambient temperature, rate of its changing, relative humidity, atmospheric pressure, rated supply voltage, power consumption, operating position, time of readiness for operation and type of operation – most often it is a continuous operation) as well as normal test conditions. Test methods recommend verification of compatibility with the manufacturer's engineering documentation of the following: dimensions, weight, materials used, workmanship quality, signaling of power supply and marking of equipment (product name, manufacturer's name, product number/year of production and technical inspection mark).

The railway traffic control equipment testing methods differentiate between environmental and operational tests. Environmental tests should be carried out in experimental laboratories, while operational tests (the best of all) on experimental track.

The period of environmental tests results from a normative duration of each test and trial, while operational tests should last for 12 months, including all seasons (all operating conditions existing in Poland).

Subassemblies and equipment damaged during these tests should be replaced by new ones.

The railway traffic control equipment tested is classified, according to its application, as outdoor or indoor type equipment. In accordance with this classification, the tests take into account environment conditions concerning locations respectively unprotected and completely protected against environment conditions (controlled environment). Environmental factors may be divided into:

- climatic conditions (ambient temperature, rate of its changing, relative humidity, atmospheric pressure, sunlight, precipitations – rain, snow, sleet, rain temperature, rain intensity, movement of ambient air, condensation, freezing and frosting);
- chemical influences (salts, gases, fumes, greases and oils);
- substances with mechanical impact (sand, dust);
- mechanical conditions (vibrations – amplitude, acceleration, frequency).

The environmental tests verify the following features in this order: workmanship and outer look, marking, dimensions, weight, assembly, power supply signaling, power supply voltage, protection against unauthorized access, serviceability, time of start up, operation durability for given working conditions, reliability, operational strength, safety

of use. «Active» checks should be performed in the following order: initial stabilization, initial visual inspection and verification, inspection/exposure itself, final stabilizing, final visual inspection and verification. Time of tests for each type of exposure is determined from the moment when the device is entirely exposed to the preset value of exposure factor. Upon occurrence of a malfunction, its cause should be determined and it should be stated whether the device has «responded» in a safe way (in accordance with the safeness statement provided by the manufacturer). It is acceptable to combine the tests (combined tests) and make use of results obtained in the tests performed earlier.

Test results are deemed to be successful if after their completion the device in question is fully operational with safeness conditions fully complied with.

Verification of equipment's resistance against operation conditions refers to the following:

- resistance against sinusoid vibrations and jolts in a jolting and vibration machine;
- resistance against cold in the climatic chamber;
- resistance against dry heat in the climatic chamber;
- resistance against permanent humid heat in the climatic chamber resistance against atmospheric corrosion in an appropriate testing apparatus. Term «appropriate testing chamber» should be understood as standard apparatus or an apparatus produced for the individual purpose of this particular test, in accordance with the requirements of applicable standards. It is not possible to perform a single corrosion test – an approximate for maritime climate is slaty mist, industrial «climates» may be imitated by humid air with sulfur dioxide;
- resistance against water in an appropriate testing apparatus (this test should be divided into two tests: «falling drops» test and «immersion» test);
- resistance against sunlight in an appropriate testing apparatus;
- resistance against external electromagnetic fields in an appropriate testing apparatus;
- resistance against traction currents;
- resistance against electromagnetic noise.

Operational tests are carried out in normal environmental conditions and in real time. The equipment should be installed and operated in accordance with the manufacturer's instructions. The

tests should include verification of equipment's operation both when it fulfills required functions and in waiting time in standby conditions.

The operational tests should verify ability to operate (in real conditions and with simulation of malfunctions), serviceability, maintainability and functional compatibility with other equipment. Upon occurrence of a malfunction, its cause should be determined and it should be stated whether the device has «responded» in a safe way (in accordance with the safeness statement provided by the manufacturer). In the operational tests, the «active» tests should be performed in «in service» situations for a normal passage of rolling stock with stopping, and subsequently with backing, continuing of travel forward or with backing and continuing of travel forward.

Standards developed by appropriate committees put an enormous emphasis on correctness, reliability and safeness of software of more and more frequently implemented computer based railway traffic control systems. These recommendations concern appropriate organization of software preparation and verification processes, as well as they provide requirements for the structure of software and tools being used.

The operational test program discussed above applies equally to the relay and electronic based railway traffic control equipment and the computer based ones. Verification of required railway traffic control equipment or system functions in the operational tests includes also analysis of correctness and safety of software part. These test however should be completed with a laboratory software testing in the situations exceeding normal operation conditions.

Conclusions

Description of tests performed should be maintained on a durable information media and should be marked with the name of institution performing the testing, name of equipment, basic data of equipment, description of test methods, list of reliability indices determined time of test duration, method of recording and analysis of malfunctions, principles governing the preparation and interpretation of test results and test sheet, with marked date and time of starting the tests, real duration of

tests, environment conditions, date and time of malfunction occurrence, type and cause of malfunction, duration of idle time caused by discovery and removal of the malfunction and summary number of malfunctions during the tests.

An important issue, although exceeding the presented scope, is the issue of operation tests (monitoring of equipment operation during their normal work and recording of malfunctions in the Equipment Check Log) and evaluation of reliability of railway traffic control equipment and systems on this basis.

BIBLIOGRAPHY

1. CENELEC European Standard EN 50126 Railway applications. The specification and demonstration of dependability, reliability, availability, maintainability and safety (RAMS).
2. Company Standard ZN-91/MTiGM-CBP-12: Bezpieczność w systemach sterowania ruchem kolejowym, (Safeness in railway traffic control systems).
3. Ordinance of the Minister of Transportation // Journal of Laws of Republic of Poland: confirm 22.04.1999. – № 45. – item. 475. – P. 24.
4. Recommendations of German Railways: M8004/95: Podstawy technicznego dopuszczenia urządzeń sterowania ruchem kolejowym. German. – 1995. – 27 p.
5. Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym. (Requirements of safety for railway traffic control equipment) PKP. Warsaw: Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. – 1998. – 45p.
6. Ordinance of Minister of Transport and Maritime Economy. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej // Journal of Laws of Republic of Poland: confirm 22.04.1999. – № 47. – item. 475. – 26 p.
7. Krychniak S.: Techniczny odbiór jakościowy w systemie bezpieczeństwa ruchu kolejowego (Technical quality commissioning in the railway traffic safety system) // Przegląd Kolejowy. – 1992. – № 1. – P. 5–7.
8. Krychniak S.: Niektóre problemy certyfikacji wyrobów i usług dla kolei w Polsce (Certain issues concerning certification of products and services for railways in Poland) // Przegląd Kolejowy. – 1994. – № 4. – P. 16–19.

Submitted to the editorial board on 03.10.03.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОТ ПАРОВ АММИАКА С ПОМОЩЬЮ ЖИДКИХ ЗАВЕС

Розроблена комп'ютерна модель розрахунку процесу подачі в хмару аміаку води або кислоти за допомогою спринклерних установок. Модель базується на тривимірному рівнянні переносу домішки в атмосфері, яке записане як для аміаку, так і для нейтралізатора. Наведені результати обчислювального експерименту.

Разработана компьютерная модель расчета процесса подачи в облако аммиака воды или кислоты с помощью спринклерных установок. Модель основывается на трехмерном уравнении переноса примеси в атмосфере, записанного как для аммиака, так и для нейтрализатора. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A computer model to simulate the ammonia cloud concentration reduction with sprinklers which used water or acid was developed. The model is based on 3D equation of admixture transfer written both for ammonia and neutralizer. The results of numerical experiment are presented.

Введение

Известно, что железнодорожный транспорт перевозит значительные объемы жидких грузов. Аварийные разливы таких грузов, особенно тех, которые являются токсичными веществами, приводят не только к интенсивному загрязнению окружающей среды, но способны вызвать отравление людей, животных с летальным исходом. Одной из особенностей аварийных разливов является образование облака испаряющегося вещества над зоной разлива, которое, в зависимости от метеоусловий, может мигрировать, вызывая загрязнение подстилающей поверхности, атмосферы, водоемов [1; 3].

Одним из методов ликвидации этого облака и снижения его влияния на уровень загрязнения атмосферы является подача в него воды, нейтрализатора. Применение данного метода рассматривается в работах [1; 3; 4; 6]. Однако отсутствует научное «наполнение» данного метода: нет конкретных рекомендаций по количеству спринклерных установок, их интенсивности, режиму работы, схеме размещения. Отмечается только, что спринклерные установки должны располагаться по направлению ветра. В работе [4] дается рекомендация по размещению относительно друг друга спринклерных установок, их расхода, однако данные рекомендации носят частный характер и не могут быть прямо использованы для реальных, разнообразных сценариев. Изменение метеоусловий (направление ветра, инверсия и т. д.) вызывает изменение направления миграции облака, поэтому предварительная схема размещения струйных установок, спустя некоторое время может оказаться

нерациональной. Для выработки эффективной стратегии ликвидации облака над зоной разлива необходима методика расчета взаимодействия токсичного вещества с нейтрализатором, который подается в облако.

Целью настоящей работы является разработка математической/компьютерной модели, позволяющей прогнозировать динамику изменения концентрации вредного вещества (ВВ) в облаке с учетом подачи в него воды или другого нейтрализатора, от струйных установок.

1. Постановка задачи, математическая модель миграции облака загрязнения в атмосфере

Рассматривается процесс аварийного разлива аммиака, в результате которого образовалось первичное облако. Для уменьшения концентрации аммиака в мигрирующем облаке используется подача в облако воды или кислоты с помощью струйных установок (рис. 1).



Рис. 1. Схема подачи нейтрализатора от струйных агрегатов

Необходимо исследовать эффективность применения каждого вида нейтрализатора для снижения размеров облака.

Процесс миграции загрязнения в атмосфере моделью градиентного типа [5]

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s) \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \sum q_i(t) \delta(r - r_i), \quad (1)$$

где φ – концентрация загрязняющего вещества; u, v, w – компоненты вектора скорости ветра; μ_x, μ_y, μ_z – коэффициенты турбулентной диффузии; δ – коэффициент, учитывающий химический распад загрязняющего вещества; ωS – скорость гравитационного осаждения; $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дикара; t – время.

Процесс испарения ВВ поверхности разлива моделирует с точечными источниками интенсивности q_i , которая рассчитывается так, г/м²/час, [7]:

$$q_i = (5,38 + 4,1V) P_h \sqrt{M},$$

где V – скорость ветра; P_h – давление насыщенных паров ВВ при заданной температуре; M – молекулярный вес ВВ.

Интенсивность испарения q_i зависит от ряда других параметров (время суток, высота стояния солнца). Однако детализация этих условий во многих практических случаях может быть опущена. В то же время, необходимо учитывать, например, то, что когда вода попадает в зону загрязнения будет изменяться интенсивность испарения, т. е. величина q_i и это необходимо учитывать для разработки универсальной модели.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [5]. Отметим, что для моделирования необходимо задать форму, размеры облака перед началом его обработки с помощью струйных агрегатов. Концентрация ВВ в этом облаке (что является самым главным) определяется путем предварительного расчета на основе данных о времени аварии, массе разлитого груза, метеоусловиях и т. д. или задается, исходя из имеющихся данных.

2. Математическая модель рассеивания воды, нейтрализатора в атмосфере

Процесс рассеивания капель воды или нейтрализатора от спринклерных установок моделируется, как и выше, уравнением градиентного типа, записанным относительно концентрации C воды или нейтрализатора:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s) c}{\partial z} + \delta_u e = \mu \Delta c + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \quad (2)$$

где $Q_i(t)$ – интенсивность струйной установки; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты размещения струйной установки; δ_u – коэффициент, учитывающий испарение капель воды, нейтрализатора.

Отметим, что в модели (2) учитывается возможность перемещение струйной установки и задание различного режима ее работы.

Если происходит взаимодействие ВВ с подаваемой в облако жидкостью, то необходимо уравнения модели (1), (2) дополнить моделью кинетики [6].

3. Метод решения

Численное интегрирование уравнений (1) и (2) осуществляется с помощью неявной схемы, предварительно исходное уравнение переноса расщепляется на 5 шагов:

$$\frac{\partial \varphi^1}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\tilde{V} + \varphi^1) + \frac{1}{4} \sigma \varphi^1 = \frac{1}{4} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\tilde{\mu}_{1x} \frac{\partial \varphi^1}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\tilde{\mu}_{1y} \frac{\partial \varphi^1}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\tilde{\mu}_{1z} \frac{\partial \varphi^1}{\partial z}) \right);$$

$$\frac{\partial \varphi^2}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\tilde{V} - \varphi^2) + \frac{1}{4} \sigma \varphi^2 = \frac{1}{4} \operatorname{div}(\mu \cdot \nabla \varphi^2);$$

$$\frac{\partial \varphi^3}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\tilde{V} - \varphi^3) + \frac{1}{4} \sigma \varphi^3 = \frac{1}{4} \operatorname{div}(\mu \cdot \nabla \varphi^3);$$

$$\frac{\partial \varphi^4}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\tilde{V} + \varphi^4) + \frac{1}{4} \sigma \varphi^4 = \frac{1}{4} \operatorname{div}(\mu \cdot \nabla \varphi^4);$$

$$\frac{\partial \varphi^5}{\partial t} = \sum_{i=1}^N q_i(t) \delta(r - r_i);$$

$$\varphi \Big|_{t=t^n} = \varphi(x, y, z, t^n); \quad \varphi \Big|_{t=t^n} = \varphi \Big|_{t=t^{n+1}};$$

$$\varphi(x, y, z, t^{n+1}) = \varphi \Big|_{t=t^{n+1}};$$

$$\tilde{V}^+ = [u^+, v^+, w^+]; \quad \tilde{V}^- = [u^-, v^-, w^-];$$

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

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

$$w^+ = \frac{w + |w|}{2}; w^- = \frac{w - |w|}{2}.$$

Разностные выражения на каждом шаге расщепления имеют вид:

- на первом шаге

$$\begin{aligned} & \frac{j^1_{ijk}{}^{n+1} + j^1_{ijk}{}^n}{\Delta t} + (L_x^+ + L_y^+ + L_z^+) \times \\ & \times \left(\varphi_{ijk}^1 \xi + \varphi_{ijk}^1 (1 - \xi) \right) + \frac{\sigma^1}{4} \varphi_{ijk}^{n+1/2} = \\ & = \frac{1}{4} \left[(M_{xx}^+ + M_{yy}^+ + M_{zz}^+) \varphi_{ijk}^{n+1} \right], \quad (3) \end{aligned}$$

где $0 \leq \xi \leq 1$ $\varphi_{ijk}^{n+1/2} = \frac{\varphi_{ijk}^{n+1} + \varphi_{ijk}^n}{2}$;

- на втором шаге расщепления

$$\begin{aligned} & \frac{\varphi_{ijk}^{n+1} - \varphi_{ijk}^n}{\Delta t} + (L_x^- + L_y^- + L_z^-) \times \\ & \times \left(\varphi_{ijk}^{n+1} \xi + \varphi_{ijk}^n (1 - \xi) \right) + \frac{\sigma^2}{4} \varphi_{ijk}^{n+1/2} = \\ & = \frac{1}{4} \left[(M_{xx}^- + M_{yy}^- + M_{zz}^-) \varphi_{ijk}^{n+1} + (M_{xx}^- + M_{yy}^- + M_{zz}^-) \varphi_{ijk}^n \right] + \\ & + (M_{xx}^- + M_{yy}^- + M_{zz}^-) \varphi_{ijk}^n; \quad (4) \end{aligned}$$

- на третьем шаге расщепления используется разностное уравнение (4);
- четвертый шаг расщепления – применяется разностное уравнение (3);
- пятый шаг расщепления имеет вид

$$\frac{\varphi_{ijk}^{n+1} - \varphi_{ijk}^n}{\Delta t} = \sum_{l=1}^N \frac{q_l(t^{n+1/2})}{\Delta x \Delta y \Delta z} \delta_l.$$

В этих выражениях использованы следующие обозначения разностных операторов:

$$L_x^+ \varphi_{ijk} = \frac{u_{i+1,jk}^+ \varphi_{ijk} - u_{ijk}^+ \varphi_{i-1,jk}}{2\Delta x};$$

$$L_x^- \varphi_{ijk} = \frac{u_{i+1,jk}^- \varphi_{i+1,jk} - u_{ijk}^- \varphi_{ijk}}{2\Delta x};$$

$$L_y^+ \varphi_{ijk} = \frac{v_{i,j+1,k}^+ \varphi_{ijk} - u_{ijk}^+ \varphi_{i,j-1,k}}{2\Delta y};$$

$$L_y^- \varphi_{ijk} = \frac{v_{i,j+1,k}^- \varphi_{i,j+1,k} - v_{ijk}^- \varphi_{ijk}}{2\Delta y};$$

$$L_z^+ \varphi_{ijk} = \frac{w_{i,j,k+1}^+ \varphi_{ijk} - w_{ijk}^+ \varphi_{i,j,k-1}}{2\Delta z};$$

$$L_z^- \varphi_{ijk} = \frac{w_{i,j,k+1}^- \varphi_{i,j,k+1} - w_{ijk}^- \varphi_{ijk}}{2\Delta z};$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) & \approx \tilde{\mu}_x \frac{\varphi_{i+1,j}^{n+1} - \varphi_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_x \frac{\varphi_{ij}^{n+1} - \varphi_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = \\ & = M_{xx}^- \varphi^{n+1} + M_{xx}^+ \varphi^{n+1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) & \approx \tilde{\mu}_y \frac{\varphi_{i,j+1}^{n+1} - \varphi_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_y \frac{\varphi_{ij}^{n+1} - \varphi_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = \\ & = M_{yy}^- \varphi^{n+1} + M_{yy}^+ \varphi^{n+1}. \end{aligned}$$

При расчете используется «возмущенный» коэффициент диффузии $\tilde{\mu}_{1x} = \frac{\mu}{1 + \frac{u^+ \Delta x}{\mu}}$ и т. д.

На каждом шаге расщепления расчет неизвестной величины осуществляется по явной формуле бегущего счета.

Практическая реализация

На базе уравнений (1), (2) и на основе рассмотренных разностей схемы разработан пакет программ «СТРУЯ 3». Программы реализованы на алгоритмическом языке FORTRAN-IV. Для выполнения расчетов следует ввести следующую информацию:

- размеры расчетной области;
- размер и форму облака ВВ, образовавшегося на месте аварийного разлива (необходимо отметить, что разработанная программа позволяет задавать любую форму облака ВВ: в виде «гриба», сферы, эллипсоида и т. д., а также реализована возможность задавать два, три облака и т. д.);
- место аварийного разлива;
- концентрацию ВВ в облаке;
- направление, величина скорости ветра;
- количество и место размещения струйных установок, их расход;

- тип нейтрализатора.

Ввиду того, что в разностном алгоритме источник выброса воды или нейтрализатора «размазывается» по объему разностной ячейки, то в модели воспроизводится интегральный эффект работы спринклерных установок, которые размещены в данной ячейке.

Отметим, что для отработки стратегии проведения защитных мероприятий с использованием завес, можно воспользоваться двумерной моделью, представляющей осредненные по высоте переноса примеси N уравнения (1) и (2). Вид этих уравнений совпадает с уравнениями (1) и (2), но в них отсутствуют слагаемые по z [5]. Численное решение этих двухмерных уравнений осуществляется на основе рассмотренной выше разностной схемы, построенной для двумерного случая. На базе двумерной модели создан пакет программ «СТРУЯ 2».

Как отмечалось выше, для моделирования процесса взаимодействия аммиака с водой (или с другими веществом) необходимо, в модели наряду с уравнениями (1) и (2) дать количественную характеристику такого процесса взаимодействия. В данной работе ограничимся рассмотрением процесса подачи 20 % раствора кислоты H_3PO_4 и воды в облако аммиака. Количество аммиака, связавшегося в каждой точке пространства с водой, определяется его концентрацией в этой точке и соответствующим ей давлением пара NH_3 [7]. В связи с этим, в разработанной модели, на первом этапе, рассчитывается концентрация аммиака в конкретной точке пространства, определяется давление насыщенного пара и раствора аммиака и определяется какова будет концентрация водного раствора аммиака, соответствующая данному давлению. Далее, на втором этапе, зная концентрацию воды в выбранной точке и концентрацию водного раствора, рассчитывается, какое количество аммиака и воды прореагирует в этой точке. Расчет рассмотренного этапа взаимодействия «аммиак–вода» осуществляется в разработанной подпрограмме «REACT», которая входит в созданный авторами пакет прикладных программ. Процесс взаимодействия кислоты и аммиака [6] реализован в подпрограмме «REACT 1».

Пример расчета

Ниже представлены результаты компьютерного моделирования процесса подачи кислоты и воды в облако аммиака, образовавшегося на месте аварии.

Результаты решения относятся к задаче с такими исходными данными: размеры облака NH_3 – 80×80 м; высота приземного слоя – $H = 100$ м; концентрация NH_3 в облаке – $5-10$ г/м³; подача воды (кислоты, 20 %-й раствор) $Q = 100$ л/с.

На рис. 2 показаны изолинии концентрации NH_3 в атмосфере при работе одной спринклерной установки и подачи кислоты в зону загрязнения. Скорость ветра $V = 0,2$ м/с; азимут – 68° (вектор воздушного потока на рисунках условно показан стрелкой). Поле загрязнения атмосферы приведено здесь и далее для момента времени $t = 540$ с после начала ($t = 0$) работы спринклерной установки (считалось что в момент времени $t = 0$ появился направленный поток воздуха, который начал сносить облако NH_3).

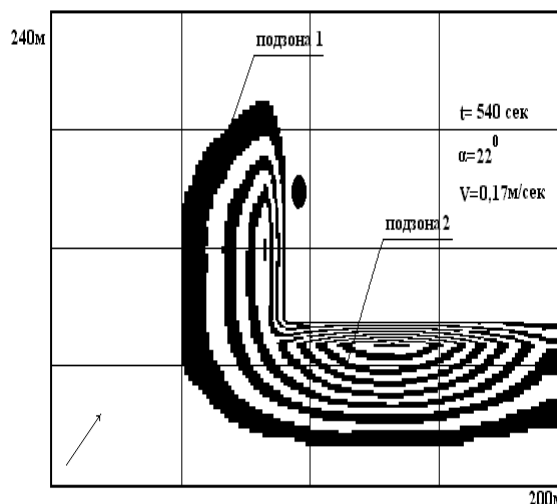


Рис. 2. Изолинии концентрации аммиака после начала работы спринклерной установки, $t = 540$ (подача раствора кислоты)

На рис. 3 видно, что при работе одной спринклерной установки, зона загрязнения атмосферы разбивается на две подзоны:

– первая подзона располагается перед спринклерной установкой и имеет форму «полки»;

– вторая подзона – это шлейф NH_3 который не попал в зону влияния спринклерной установки и сносится ветром, вызывая загрязнение атмосферы и различных объектов, расположенных на пути миграции облака. Обратим теперь внимание на рис. 3, где показана зона загрязнения атмосферы при работе двух спринклерных установок (подача кислоты). Отчетливо видно, что вторая подзона в этом случае отсутствует. Повышение эффективности защиты атмосферы в этом случае, по сравнению с предыдущим вариантом очевидно.

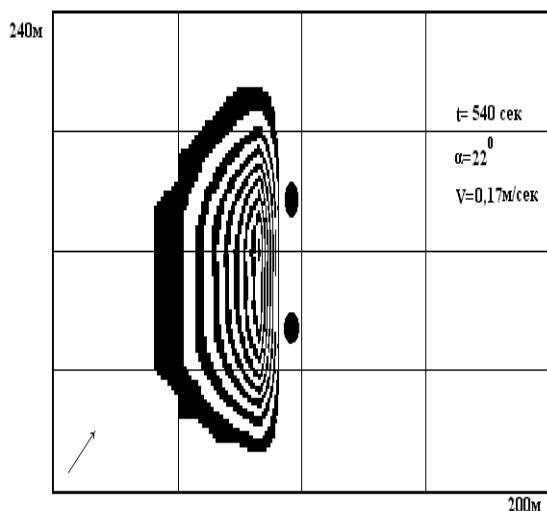


Рис. 3. Изолинии концентрации аммиака после начала работы спринклерной установки, $t = 540$ (подача раствора кислоты)

Теперь рассмотрим случай когда в облако NH_3 подается вода. Как известно, подача воды рекомендуется многими авторами [1; 4]. При этом авторы не приводят количественную оценку эффективности такого метода защиты атмосферы от загрязнения.

На рис. 4 показана зона загрязнения атмосферы при работе одной спринклерной установки, подающей воду. Как видно из рис. 4 зона загрязнения практически не «чувствует» влияния подачи в нее воды: облако NH_3 свободно мигрирует через спринклерную установку, причем отсутствует явно видимая, как на рис. 2, зона нейтрализации аммиака. Таким образом, подача воды в облако аммиака, малоэффективный способ защиты атмосферы, особенно в случае формирования зоны загрязнения под влиянием ветрового потока.

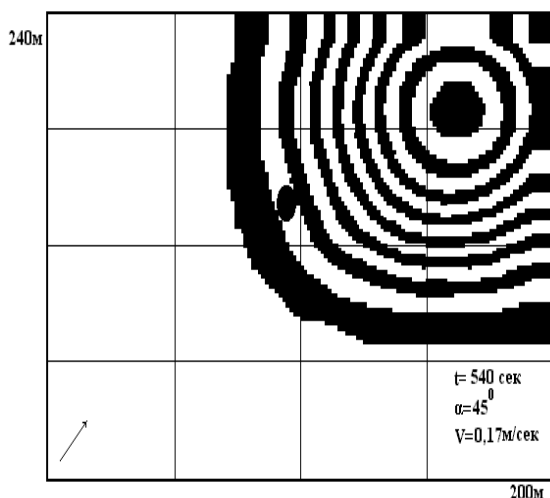


Рис. 4. Изолинии концентрации аммиака после начала работы спринклерной установки, $t = 540$ (подача воды)

Выводы

Разработана новая методика расчета процесса взаимодействия токсичного вещества в первичном облаке с нейтрализатором, который подается в облако. Методика позволяет выполнить расчет с учетом скорости миграции облака, его формы, количества струйных агрегатов и их режима работы. Реализация методики требует около 5...10 с при расчете на ПЭВМ.

В заключение отметим, что разработка данного научного направления в дальнейшем должна быть нацелена на исследование влияние оптимального расположения спринклерных установок для эффективной защиты от загрязнения аммиаком атмосферы и подстилающей поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 5-ти книгах / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 354 с.
2. Беляев Н. Н., Коренюк Е. Д., Хрущ В. К. Прогнозирование качества воздушной среды методом вычислительного эксперимента. – Д.: Наука и образование, 2000. – 208 с.
3. Гринин А. С., Новиков В. Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2000. – 336 с.
4. Иванов Ю. А., Стижевский И. И. Хранение и транспортировка жидкого аммиака. – М.: Химия, 1991. – 80 с.
5. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. – К.: Наукова думка, 1997. – 368 с.
6. Плахотник В. Н., Ярышкина Л. А., Сираков В. И. и др. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 244 с.
7. Мацак В. Г., Хоцянов Л. К. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве. – М.: Медгиз, 1959. – 231 с.

Поступила в редколлегию 28.05.03.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПРИ АВАРИЙНОМ СХОДЕ ЦИСТЕРН

Розроблена математична модель розрахунку динаміки забруднення р. Дніпро при аварійному скиді забруднювача. Модель базується на двовимірних рівняннях річної гідравліки та рівнянні міграції домішки. Наведені результати чисельного моделювання забруднення акваторії при сході залізничних цистерн з мосту.

Разработанная математическая модель расчета динамики загрязнения р. Днепр при аварийном сбросе загрязнителя. Модель базируется на двумерных уравнениях речной гидравлики и уравнении миграции примеси. Приведенные результаты численного моделирования загрязнения акватории при сходе железнодорожных цистерн с моста.

A mathematical model to calculate pollution of the Rivers Dnipro and Samara after an emergency discharge of a pollutant has been developed. The model is based on 2D equations of annual river hydraulics and the impurity transfer equation. The results of numeral simulation of pollution of the rivers' area after derailment of railtanks from the bridge are presented.

Введение

В последнее время повышенный интерес представляет прогноз качества воды в реках в случае аварийных сбросов в них различных токсичных веществ (ТВ). Попадание ТВ в реку может быть вызвано авариями на промышленных объектах (разрушение хранилищ, трубопроводов), а также при транспортировке их различными видами транспорта [1]. Необходимо отметить, что интенсивное загрязнение реки, соизмеримое с крупной аварией на производстве, могут вызвать аварии при транспортировке ТВ железнодорожным транспортом. Загрязнение реки в этом случае может произойти либо при стоке ТВ с поверхности земли, при фильтрации ТВ с поверхности земли вниз – до подземного потока, а далее в водоем при разгрузке в него подземного потока, или при непосредственном, прямом попадании ТВ в реку, например, при сходе и разрушении цистерн с моста. Необходимо отметить, что прямой сток ТВ в реку приводит сразу к наиболее интенсивному загрязнению реки. В этом случае важной задачей является прогноз динамики загрязнения воды в реке для решения следующего комплекса задач:

- Когда фронт загрязненных вод дойдет до экологически значимых объектов, расположенных вниз по течению.
- Как будет изменяться с течением времени интенсивность загрязнения воды в реке вблизи экологически – значимых объектов (водопой, пляжи и т. п.).

- Создается ли угроза загрязнения водозаборов, когда необходимо прекратить забор воды из реки и когда можно возобновить подачу.
- Создается ли угроза попадания ТВ на участок акватории реки, принадлежащий другому государству, и если да – то какова будет вероятность загрязнения этого участка акватории.

В основе решения этого комплекса задач лежит задача расчета миграции ТВ в реке. Необходимо отметить, что решение поставленной задачи осуществляется в два этапа:

- расчет гидродинамики течения и определение поля скорости в русле;
- расчет процесса миграции загрязняющего вещества в реке.

Значительный интерес представляет оценка последствий аварийных сбросов вредных веществ в крупные реки, которые повсеместно на Украине являются источниками водоснабжения. Многие промышленные центры, города расположены на их берегах, поэтому внезапное интенсивное загрязнение реки способно вызвать крайне негативные последствия. Город, промышленные объекты, спасательные службы могут быть не готовы к внезапной аварийной ситуации, вызвавшей интенсивное загрязнение акватории. Интерес к прогнозированию загрязнения крупных водных артерий (в первую очередь – р. Днепр) на Украине возрос после Чернобыльской катастрофы. В настоящее время уже целесообразно создавать математические/

компьютерные модели прогноза состояния акватории реки, прилегающей к крупному индустриальному центру, в случае внезапной крупной аварии (то есть «проигрывать» на модели всевозможные ситуации, исходя из статистики аварий, крупных железнодорожных катастроф, и тем самым разрабатывать научно-обоснованную стратегию реагирования на штатную ситуацию).

Традиционным подходом при расчете гидродинамики течения является использование одномерных уравнений речной гидравлики, занесенных в той или иной форме [1–4]. Однако на участке акватории реки, прилегающей близко к месту аварийного сброса, для получения надежных прогнозных данных необходимо учитывать геометрическую форму русла реки, наличие протоков, островов, влияющих на формирование поля скорости в русле [5–7]. Решение гидродинамической задачи с учетом таких особенностей значительно усложняет алгоритм. Поэтому для проведения серийных расчетов необходима разработка достаточно универсальных моделей, с одной стороны, и не требующих значительных затрат машинного времени «при практической реализации» – с другой стороны. **Целью** настоящей работы является разработка компьютерной модели прогноза уровня загрязнения реки Днепр при аварийном сбросе вредных веществ на железнодорожном мосту № 1 (г. Днепропетровск), позволяющей осуществлять расчет поля скорости в русле с достаточной степенью детализации особенностей, которые оказывают влияние на гидродинамику течения.

1. Математическая модель гидродинамики течения в русле реки

При расчете скорости водного потока в реке очень важно воспроизводить на модели такие важные элементы как геометрия берегов (наличие мысов, заливов), островов, которые оказывают определяющее влияние на формирование поля скорости. В работе [5] рассмотрено построение модели течения в реке с учетом описанных особенностей на базе уравнений Навье-Стокса, записанных в переменных «завихренность–функция тока». Однако при расчете течений в русле при наличии островов для реализации этой модели необходима дополнительная расчетная процедура, с целью определения значения функции тока на островах. В данной работе для расчета поля скорости используется система уравнений, записанная в

физических переменных, в рамках теории мелкой воды:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0;$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial uh}{\partial t} + \frac{\partial(u^2 + P)h}{\partial x} + \frac{\partial uvh}{\partial y} = \\ = hv \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \frac{\partial vh}{\partial t} + \frac{\partial uvh}{\partial x} + \\ + \frac{\partial(v^2 + P)h}{\partial y} = hv \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right), \end{aligned}$$

где h – уровень свободной поверхности воды, P – среднее давление воды по глубине водоема.

В правой части данных уравнений записаны слагаемые, соответствующие трению между слоями течения в горизонтальном направлении.

В модели мелкой воды при относительно небольших скоростях течения можно допустить, что давление P мало отличается от гидростатического

$$P = P_a + \rho g(h - z),$$

где P_a – давление на свободной поверхности, координата $z = 0$ соответствует дну водоема. Среднее давление в выбранном сечении равно

$$P = \rho \frac{g h^2}{2}.$$

Если при течении в водоеме уровень свободной поверхности h мало изменяется, то можно положить $h = \text{const}$ и установить аналогию с течением несжимаемой жидкости. Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [6].

2. Математическая модель переноса примеси в реке

На основе численного решения системы уравнений гидродинамики определяется поле скорости водного потока u, v . Для описания процесса переноса примеси в реке используется осредненное по глубине уравнение миграции [5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \sigma \varphi = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \left(\mu_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \\ + \sum q_i(t) \delta(r - r_i), \end{aligned}$$

где φ – концентрация загрязняющего вещества; u, v – компоненты вектора скорости; σ – коэффициент, учитывающий процессы химического разложения загрязнения, осаждение; μ_x, μ_y – коэффициент турбулентной диффузии; q_i – интенсивность точечных источников загрязнения; $r_i = (x_i, y_i)$ – месторасположения точечных источников загрязнения; $\delta(r-r_i)$ – дельта-функция Дирака; t – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [5].

3. Метод решения

Численное интегрирование уравнений модели расчета динамики течения в русле и переноса примеси по руслу реки осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Численное интегрирование проводится с использованием явной разностной схемы расщепления [5; 6]. Это позволяет построить эффективный алгоритм расчета, позволяющий проводить интегрирование уравнений в областях сложной геометрической формы с учетом таких особенностей как острова и т. п.

4. Результаты моделирования

На основе рассмотренной модели и разработанных разностных схем [5; 6] создан алгоритм и пакет программ «ПОТОК 2» для расчета переноса вредных веществ в реке после аварийного сброса. Ниже представлены результаты моделирования загрязнения р. Днепр при аварийном попадании серной кислоты в случае аварийного схода цистерн на железнодорожном мосту через р. Днепр (мост номер № 1, г. Днепропетровск).

В сценарии аварии полагалось, что утечка кислоты из цистерны в реку проходила в течение 10 часов, интенсивность выброса $q = 1$ (в безразмерном виде). На рис. 1–4 показана зона загрязнения р. Днепр (изолинии концентрации кислоты) для четырех моментов времени. Видно, что через 5 часов после аварии шлейф загрязненной воды продвинется дальше о. Зеленый. Через 15 часов – шлейф достигнет о. Монастырский (экологически значимая зона). Через 25 часов – шлейф попадет на участок акватории, где на формирование гидродинамики потока оказывает влияние приток р. Днепр – р. Самара.



Рис. 1. Зона загрязнения р. Днепр через 5 часов после аварии

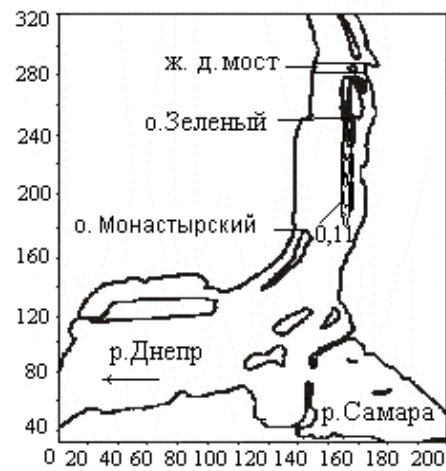


Рис. 2. Зона загрязнения р. Днепр через 15 часов после аварии

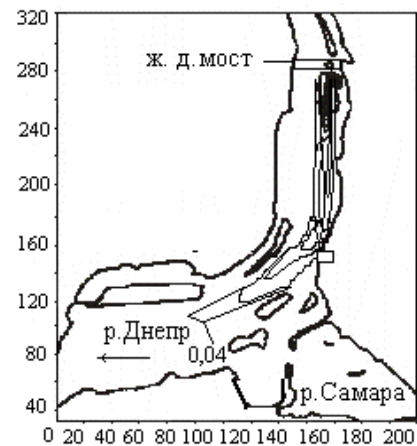


Рис. 3. Зона загрязнения р. Днепр через 25 часов после аварии

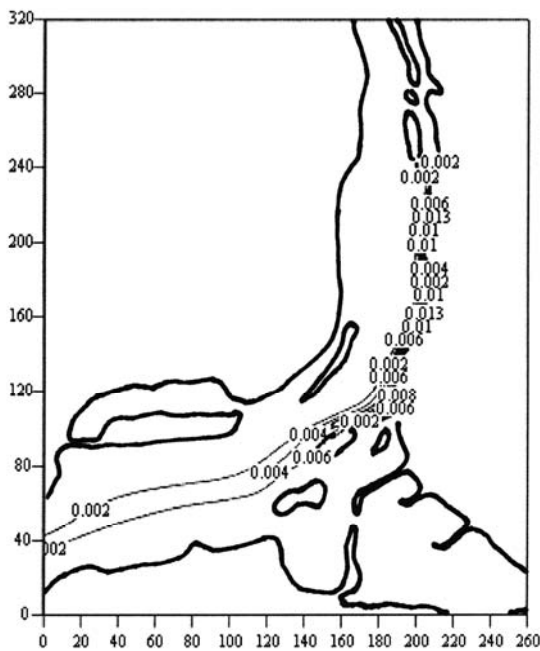


Рис. 4. Зона загрязнения р. Днепр через 125 часов после аварии

На рис. 5 показана зависимость концентрации загрязнителя от времени на участке р. Днепр (точка В, на рис. 1), где осуществляется забор воды насосной станцией I подъема фильтровальной станцией, обеспечивающей водой ж.-д. станцию Нижнеднепровск-Узел. Данные результаты позволяют определить время, когда необходимо отключить водозабор с целью предотвращения попадания загрязнителя в систему питьевого и промышленного водоснабжения.

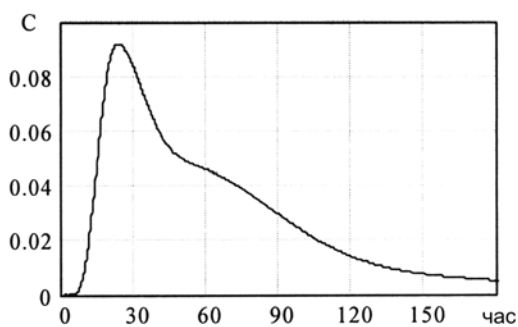


Рис. 5. Зависимость безразмерного значения концентрации загрязнителя в реке в месте водозабора

Выводы

Предложенная модель может служить элементом системы мониторинга участка акватории р. Днепр вблизи крупного промышленного узла – г. Днепропетровска. Модель является эффективной, поскольку позволяет учесть детали, оказывающие влияние на процесс переноса примеси по руслу. Совершенствование модели необходимо проводить путем создания прогнозной базы данных для нее и решения комплекса задач по загрязнению акватории при наиболее типовых, потенциальных авариях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атавин А. А., Васильев О. Ф., Воеводин А. Ф. Методы расчета нестационарных уравнений речной гидравлики // Численные методы в гидравлике и гидродинамике. – Донецк: Дон ГУ, 1994. – С. 114.
2. Большаков В. А., Клещевникова Т. П. Исследование результатов расчетов неустановившегося движения ливневых вод в руслах с большим уклоном дна // Гидравлика и гидротехника. – К.: Техніка. Вип. 14. – 1972. – С. 9–15.
3. Клименко О. А., Быстов А. В., Геков В. Ф. Оперативный прогноз распространения в водотоках зон опасного аварийного загрязнения // Гидрохимические материалы. – 1991. – Т. 100 – С. 93–1136.
4. Кюнж Ж. А., Холли Ф. М., Вервей А. Численные методы в задачах речной гидравлики. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 255.
5. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. – К.: Наукова думка. – 1997. – 368 с.
6. Зьонг Н. С. Численное моделирование течения воды на участке русла реки с переменной глубиной // Вісник Дніпропетровського університету Гер. Механіка, Вип. 3, т. 1 2000, с. 130–137.
7. Хубларян М. Г. Водные потоки: модели течений и количества суши. – М.: Наука, 1991. – С. 191.

Поступила в редколлегию 28.05.03.

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ БЕТОНОВ В РАСТВОРАХ БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЫ¹

Исследовано действие водных растворов борфтористоводородной (БФВ) кислоты на бетоны, обычно используемые в качестве напольных материалов. Показано значительное разрушающее действие кислоты, обусловленное комбинированным влиянием высокой кислотности и фторида водорода. Установлено наличие ингибирующего влияния суперпластификатора «Марефлюид» на скорость разрушения и высказаны гипотезы по поводу механизма этого влияния.

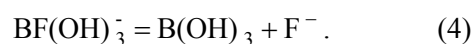
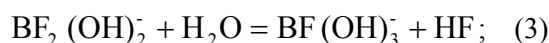
Досліджено дію водяних розчинів борфтористоводородної (БФВ) кислоти на бетоны, які використовуються для матеріалів підлоги. Показано значну дію кислоти, яка руйнує, обумовлену комбінованим впливом високої кислотності і фториду водня. Установлена наявність інгібруючого впливу суперпластифікатора «Марефлюид» на швидкість руйнування і висловлені гіпотези з приводу механізму цього впливу.

The paper concerns the issue of boron-fluoro-hydrogenous acid (BFH) water solutions influence on concretes, usually used as flooring materials. A considerable destructive effect of this acid is demonstrated, which can be explained by combined influence of high acidity and the action of the hydrogen fluoride. There has been established an inhibiting effect of the super-plasticizer «Marеfluid» upon the destruction speed and hypotheses have been presented as for the mechanism of such effect.

Водные растворы борфтористоводородной (БФВ) кислоты находят все более широкое распространение в ряде отраслей техники: в качестве компонента аккумуляторов, в составе высокопроизводительных электролитов для нанесения гальванических покрытий, при производстве катализаторов, флюсов для сварки и пайки и т. п. Исследования, выполненные в последние годы [1–3] свидетельствуют о перспективности их использования при решении некоторых экологических проблем, в частности, в технологии обезвреживания и утилизации реактивной части литиевых батарей электрохимической системы Li /LiBF₄, гаммабутиролактон/ (CF_x)_n. Расширение масштабов применения БФВ-кислоты, в том числе промышленной реализации указанной выше технологии, ставит проблему создания материалов, устойчивых к её действию и используемых при строительстве соответствующих участков (цехов), в первую очередь при укладке полов и формировании напольных покрытий.

Литературные сведения о свойствах БФВ-кислоты [4–6] позволяют предположить наличие ярко выраженной агрессивности её растворов по отношению к бетонам, составляющим обычно основу напольных материалов. По аналогии с другими фторокомплексными кислотами, она не существует как индивидуальное со-

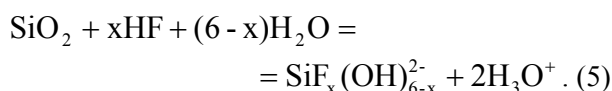
единение из-за значительного поляризирующего влияния внешнесферного слабосольватированного протона на внутреннюю координационную сферу. При переходе к водным растворам за счет укрупнения катиона и гидратации частиц фторацидокомплекс несколько стабилизируется, однако наряду с этим начинается протекание процессов ступенчатого замещения фтора на воду или гидроксил.



Выполненные нами [7; 8] расчеты составов водных растворов БФВ-кислоты указывают на наличие в них заметных количеств фторида водорода. Таким образом, действие кислоты на бетоны связано с влиянием двух факторов. Основная составляющая бетона подвержена действию H₃O⁺ с образованием хорошо растворимых фтороборатов кальция, железа и алюминия. Силикатная составляющая, а также наполнитель (песок) атакуется фторидом водорода с

¹ Работа выполнена в соответствии с Международным проектом Научно-технологического центра Украины № 1465 «Development of lithium power sources neutralization and technology»

образованием кремнефторидных комплексов и дополнительным увеличением общей кислотности раствора



Уже первые опыты, поставленные с образцами бетонов и растворами БФВ-кислоты при различных условиях, показали протекание энергичных процессов разрушения сопровождающихся потерей прочности и последующим полным разрушением образцов. Среди факторов, повышающих устойчивость бетона к агрессивному реагенту, исследовали влияние суперпластификатора, вводимого в бетонную смесь на стадии изготовления образцов.

Бетонные смеси готовили в соответствии с ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава», дозируя компоненты по весу с точностью 0,2 %. В качестве суперпластификатора использовали «Mapefluid», который вводили в различные смеси (серии № 1–4) в количествах 0,5; 1,0 и 1,5 % соответственно. После формирования и выдержки образцов на воздухе в течение месяца для набора прочности и вызревания, а также последующей сушки до постоянного веса, их погружали в растворы БФВ-кислоты концентраций 150 г/л, содержащиеся в закрытых сосудах из полиолефинов. Через определенные промежутки времени образцы извлекали, тщательно отмывали водой, высушивали и взвешивали. В каждой серии проведены параллельные испытания четырех образцов.

На рис. 1 показаны зависимости убыли массы от времени, заштрихованные области показывают ширину доверительных интервалов значений для различных образцов внутри серии. Введение суперпластификатора оказывает существенное влияние на устойчивость бетонов к БФВ-кислоте. Так, при содержании «Mapefluid» 1,5 % начальные скорости разрушения бетона снижаются по сравнению с контрольными в ~ 4 раза. Предполагаемый механизм действия суперпластификатора заключается в образовании в процессе формирования малопористых плотноупакованных материалов, при этом, прежде всего снижается поверхность контакта реагентов и соответственно скорость гетерогенного процесса. Возможно, что под действием суперпластификатора происходит уве-

личение скорости перемещения частичек цемента и наполнителя в процессе формирования, образование компактных структур, а также и дополнительное вытеснение из промежутков между частицами несвязанной воды. Последнее в свою очередь, может привести к затруднениям транспорта реагентов и продуктов реакций в зону взаимодействия БФВ-кислоты с компонентами бетона. Наконец, не исключено и прямое блокирование цементных зерен молекулами «Mapefluid» за счет адсорбционных явлений.

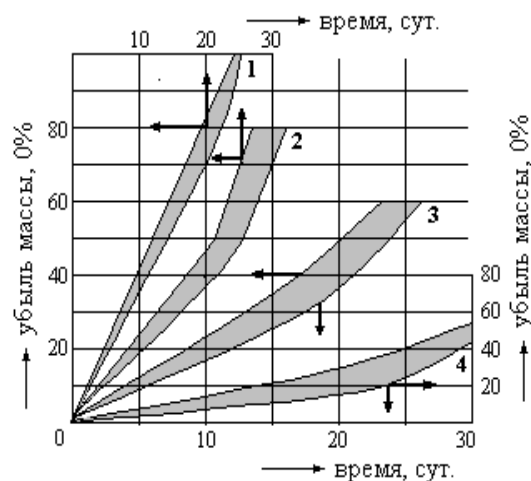


Рис. 1. Кинетика взаимодействия БФВ-кислоты с образцами бетонов, содержащих различное количество суперпластификатора «Mapefluid» (в %):
1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 1,5

На рис. 2 сопоставлены относительные изменения скоростей разрушения бетонов серий 1–4 БФВ-кислотой $dm/d\tau$ (m – масса образца в граммах, τ – время в сутках в начальный момент времени и после 30-суточного воздействия). Ход кривых говорит о снижении эффективности действия суперпластификатора со временем, что особенно характерно для смесей с его высоким содержанием. Вероятно, в процессе взаимодействия БФВ-кислоты с компонентами бетона происходит вымывание суперпластификатора и снижение таким образом эффективности его защитного действия. Это наблюдение является косвенным свидетельством в пользу заметного вклада адсорбционного механизма в защитное действие «Mapefluid».

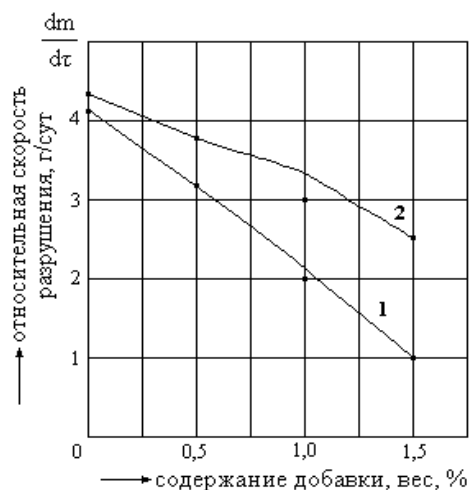


Рис. 2. Влияние содержания «Marfluid» на скорости разрушения бетонов БФВ-кислотой в начальный момент времени (1) и после 30 суток воздействия (2)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Evtukh A. A., Plahotnyk V. N., Goncharova I. V., NATO Science Series, v. 61, p. 619–622 (2002).
2. Євтух А. А., Плахотник А. В., Пінчук В. М., Кокунов Ю. В., Привалов В. У. Вісник Львівського університету: випуск 42, ч. I, ст.219–221 (2002).
3. Plahotnyk V. N., Meshvi D. T., Frolov V. P., Tovmash N. F., Oreshkin A. M., Plahotnyk A. V., Internstional Congress for Battery Recycling, Vienna, Austria, 2002, p. 1–9.
4. Рысс И. Г., Химия фтора и его неорганических соединений, Госхимиздат, М-Л, 1956.
5. Booth N., Martin D. Boron Trifluoride and its Derivatives, Wiley, New York, 1949.
6. D.W.A. Sharp, Fluoroboric Acid and its Derivatives, in: M/ Stacey, J. C. Tafrow, A. G. Sharpe (Eds), Advances in Fluorine Chemistry, Vol.1, Butterworths, London, 1960, p. 68.
7. Плахотник В. Н. // Журнал физической химии, 49; № 10. – С. 2726 (1975).
8. Plahotnyk V., Meshry D., Mukhachov A., Yaryshki-na L., Kovtun Yu. 13 Europran Symposium on Fluorine Chemistky, Bordeaux, France, 2001, 2p-101.

Поступила в редколлегию 09.10.03.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ АВАРИЯХ С ОПАСНЫМИ И ТОКСИЧНЫМИ ГРУЗАМИ

Определен порядок действий и проведения организационных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий железнодорожных аварий с опасными и токсичными грузами для оценки экологических ситуаций, возникших в результате таких аварий.

Визначено порядок дій і проведення організаційних заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків залізничних аварій з небезпечними і токсичними вантажами для оцінки екологічних ситуацій, що виникли в результаті таких аварій.

General directions for emergency procedure and organization measures, aimed at eliminating the after-effects of railway accidents with dangerous and toxic freights, are determined, in view of assessing the ecological consequences of such accidents.

Значительное количество грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, высокая грузонапряженность отдельных участков, расширение ассортимента грузов, транспортируемых по железным дорогам, вызванное углублением специализации производств [1], естественная тенденция к увеличению скоростей движения и ряд других причин обуславливают тезис невозможности полного исключения транспортных аварий с экологически опасными грузами. К этому следует прибавить сохраняющиеся во всех странах мира трудности надежного прогнозирования стихийных бедствий и катастроф (землетрясений, ураганов, наводнений и т. п.), а также риск возникновения аварий во время локальных военных или террористических действий.

Параллельно с этим происходит ужесточение экологических требований ко всем видам производственной деятельности, наблюдается возрастающее понимание важности и приоритетности экологических проблем для человечества, усиливается влияние государственных и общественных организаций, политических движений и партий, занимающихся решением экологических вопросов. При работе в безаварийном режиме железнодорожный транспорт оказывает наименьшее влияние на природу, однако, в случае возникновения аварий масштабы залповых эмиссий токсичных веществ в окружающую среду весьма значительны [2–7].

Анализ различных материалов [3; 4], обмен мнениями с ведущими учеными и практиками в области транспортной экологии стран-членов ОСЖД и МСЖД показывает, что значительное число исследований и мероприятий, касающихся

транспортных катастроф, посвящено оценке риска их возникновения, ориентировочному прогнозированию распространения эмиссий и мероприятиям превентивного характера. Вопросы оценки экологических последствий этих аварий и технические решения по их устранению являются менее разработанными, хотя важность таких разработок не подвергается сомнению.

Учитывая высокую актуальность проблемы ликвидации экологических последствий аварий с опасными грузами на железнодорожном транспорте, Комиссией по транспортной политике, экологии и комбинированным перевозкам Комитета ОСЖД принят ряд решений [8–13], касающихся результатов анализа ситуации с авариями при перевозке опасных грузов, выбора приоритетных технологических процессов, подлежащих первоочередной разработке, а также создания системы организационных мероприятий, рекомендуемых для использования в странах-членах ОСЖД.

Предметом настоящей статьи является определение общих для методов оценки экологических ситуаций, возникших в результате железнодорожных аварий с опасными и токсичными грузами, направлений порядка действий и проведения организационных мероприятий по ликвидации последствий таких аварий.

С учетом большого количества и ассортимента продуктов, являющихся экологически опасными для людей и окружающей среды и перевозимых железнодорожным транспортом, подробные технологии приведены лишь для приоритетных видов грузов. Использование настоящих рекомендаций с учетом конкретных

условий, имеющих место на железных дорогах, открывают возможность создания более широкого круга технологий и образцов техники для минимизации последствий одного из наиболее негативных моментов транспортировки опасных грузов железнодорожным транспортом – аварий и катастроф.

Ликвидацией последствий аварий и восстановлением движения на железных дорогах обычно заняты восстановительные и пожарные поезда. Однако они не располагают оборудованием, реагентами и техникой для обезвреживания и нейтрализации веществ, представляющих опасность для окружающей среды. Кроме того, действия этих подразделений ориентированы на принятие срочных мер по спасению людей и не нацелены на устранение отдаленных экологических последствий для окружающей природной среды, результаты которых могут быть весьма значительными.

В тех случаях, когда авария произошла недалеко от места расположения грузоотправителя или грузополучателя, наиболее рациональным решением является вызов специальных аварийных бригад, имеющих в их распоряжении. Однако часто аварии происходят на значительных расстояниях от дислокации таких бригад (сотни или даже тысячи километров). В случае международных перевозок они вообще могут находиться в различных государствах. Прибытие такой бригады на место аварии может оказаться несвоевременным и в некоторых случаях – бесполезным. Обострение конкурентных отношений и рост специализации производств способствует сужению круга производителей и потребителей того или иного вида химической продукции и увеличению вероятности возникновения вышеуказанных ситуаций. По этой причине, – хотя мероприятия по ликвидации аварий с экологически опасными грузами, проводимые железными дорогами, должны обязательно проходить во взаимодействии с соответствующими региональными органами, с предприятиями грузоотправителя или грузополучателя, во многих случаях железные дороги должны быть готовы к реализации таких мероприятий собственными силами. Особенно это касается типовых, наиболее распространенных грузов и грузов, не обладающих специфическим поведением.

Исходя из вышеприведенного, можно сформулировать некоторые общие рекомендации по преодолению экологических последствий транспортных аварий и катастроф:

1. Разработка серии технологических процессов, обеспечивающих локализацию, улавливание или обезвреживание экологически опасных веществ, попавших в окружающую среду.

2. Разработка оборудования и аппаратуры для приготовления, хранения, перекачки нейтрализующих растворов, сбора различных жидкостей и других технических процедур по ликвидации аварий.

3. Дооснащение восстановительных поездов аппаратурой и механизмами, предназначенными для ликвидации аварий с экологически опасными грузами, а также приборами для контроля содержания токсичных веществ в воздухе, воде и почве.

4. Укомплектование восстановительных поездов специалистами, владеющими технологиями и техникой для выполнения процесса ликвидации и контроля полноты обезвреживания.

5. Выполнение анализа грузопотоков и расчет на этой основе рациональной дислокации восстановительных поездов, оснащенных различными типами оборудования и реагентов. Разработка систем взаимодействия железных дорог пограничных государств по ликвидации экологических последствий аварий.

6. Повышение мобильности восстановительных поездов особенно для случаев аварий с веществами, быстро мигрирующими в биосфере.

7. Совершенствование системы организационных мероприятий по предотвращению поражения людей и устранению последствий аварии.

8. Разработка и усовершенствование нормативно-технической документации по перевозке опасных грузов, включая порядок действия персонала при возникновении аварийных ситуаций, соответствующей маркировки цистерн, требований к формированию поездов с учетом возможности образования опасных, токсичных и взрывчатых смесей, обязательное страхование опасных грузов от нанесения ущерба природе и т. п.

9. Совершенствование методов обнаружения экологически опасных веществ в окружающей среде в местах их транспортировки и средств оперативной передачи информации о возникновении аварийной ситуации.

Учитывая сведения о железнодорожных организациях по ликвидации аварий и их место в государственной схеме ликвидации чрезвычайных ситуаций, организационная схема взаимо-

действия ведомственных и государственных органов может выглядеть следующим образом:

1 – структуры и технические средства обнаружения начала аварии и ее оценки;

2 – надежные средства связи, обеспечивающие передачу информации заинтересованным органам и устойчивую связь между всеми подразделениями;

3 – способы и методы прогнозирования процесса развития аварии и способов ликвидации аварий и их последствий;

4 – координация и совместные мероприятия с государственными специальными органами страны, в случае приграничных ситуаций с органами страны-соседки;

5 – технологические и защитные средства для работников, занятых ликвидацией экологических последствий аварийных ситуаций.

Требования к технологическим средствам и процессам сводятся к следующим позициям:

- реагенты должны быть по возможности не токсичны;
- технологические процессы подачи реагентов должны исключать ручной труд;
- оборудование для приведения реагентов в необходимый по технологии вид должно быть передвижным;
- количество реагентов при выезде на аварию должно быть рассчитано по прогнозу аварии с 1,5–2,0 кратным запасом.
- контроль экологического состояния местности после ликвидации аварии;
- организация подготовки специалистов по ликвидации аварийных ситуаций с ЭПОГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Транспорт: наука, техника, управление, 1996, № 5. С. 2–19.
2. Плахотник В. Н., Сираков В. И., Чернявский Ю. Я., Ярышкина Л. А., Экологические аспекты аварий на железных дорогах стран членов ОСЖД // Бюллетень ОСЖД. – 1997. № 6. – С. 7–9.
3. Транспорт и окружающая среда, Рабочие материалы международного семинара EBRD-Naskoning. – К., 1994, 300 с.
4. Транспортный бюллетень. Транспрес&с. 1993–2003.
5. Plakhotnik V. N., Popov V. V., Drabkina A. Kh., Yaryshkina L. A., Olevskaya Yu. B., Gulivets I. L., Chemical aspects of transport influence upon the environment, 35 th IUPAC Gongress, Istanbul, 1995, p. 179.
6. Plakhotnik V. N., Drabkina A. Kh., Volkovnikskaya N. A., Chaukina L. V., Yaryshkina L. A., The influence of the Ukrainian railway transport upon the environment, International Conference, Traffic effects on structures and environment, 1994, Slovakia, VII, p. 125–128.
7. Plakhotnik V. N., Soroka N. E., Gulivets I. L., Yaryshkina L. A., Methods of neutralizing proceeding and utilizing the waste materials from railway transport enterpises, International Scientific-practical conference «CPWM-96», Dnepropetrowsk, 1996, p. 69.
8. Протоколы совещаний экспертов комиссии по транспортной политике, экологии и комбинированным перевозкам, Жилина 1996, Варшава 1996, Пловдив 1997, Киев 1997, Юрмала, 1998, Ярославль 1998, Пекин 1999.

Поступила в редколлегию 15.10.03.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА СО СТАТИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Розроблено функціональну схему системи автоматичного управління рекуперативним гальмуванням електровозів постійного струму при живленні обмоток збудження від статичного збуджувача.

Разработана функциональная схема системы автоматического управления рекуперативным торможением электровозов постоянного тока при питании обмоток возбуждения от статического возбудителя.

A functional chart of DC electric locomotives recuperative braking automatic control system, with power supplies of excitation windings from a static activator, has been developed.

В настоящее время вместо машинного вращающего преобразователя для независимого питания обмоток возбуждения тяговых двигателей в режиме рекуперативного торможения на электровозах постоянного тока внедряются статические преобразователи возбуждения (СПВ). Так, например, ДЭВЗ изготавливает СПВ и устанавливает их на электровозах постоянного тока ДЭ1. Поэтому возникла необходимость разработать систему автоматического управления рекуперативным торможением (САУРТ) для электровозов постоянного тока со статическими преобразователями.

На железных дорогах Украины эксплуатируются электровозы постоянного тока ВЛ11 и ВЛ11^М, которые оборудованы САУРТ при питании обмоток возбуждения от машинных преобразователей. При эксплуатации этих электровозов выявились многие недостатки, основными являются: большая инерционность системы автоматического регулирования; нет выравнивания токов рекуперации между кузовами электровоза на соединениях *СП* и *П*.

Для устранения вышеуказанных недостатков разработана функциональная система автоматического управления рекуперативным торможением для электровозов постоянного тока со статическими преобразователями (рис. 1).

Принципиальная схема силовой цепи рекуперативного торможения одной секции на *П* соединении представлена на рис. 2.

В каждой цепи включены по два якоря тяговых двигателей М1-М2 и М3-М4. Последовательно якорной цепи включены датчики якорей ДТ1-2 и ДТ3-4. Обмотки возбуждения тяговых двигателей М1-М4 соединены попарно последовательно и каждая пара обмоток возбужде-

ния получает питание от своего возбудителя: М1-М2 от УВ1, М3-М4 от УВ2. Питание обмоток возбуждения не изменяется при различной группировке якорных цепей двигателя. В цепи обмоток возбуждения включены датчики токов возбуждения ДВ1 и ДВ2. Выходное напряжение возбудителей УВ1 и УВ2 регулируется при помощи сигналов управления фазорегуляторами ФР1 и ФР2.

Входными сигналами системы автоматического управления режимами рекуперативного торможения являются сигналы: датчиков тока $I_{я1-2}$ и $I_{я3-4}$, датчиков токов возбуждения $I_{в1-2}$ и $I_{в3-4}$, датчика напряжения контактной сети $U_{кв}$. При помощи задатчика максимального тока якоря (ЗТЯ), представляющего собой сельсин, ротор которого приводится во вращение тормозной рукояткой контроллера машиниста, машинист может задать величину тормозного тока, исходя из анализа условий движения.

На элемент «МАКС 1» подаются сигналы, пропорциональные напряжению датчиков токов якорей $I_{я1-2}$ и $I_{я3-4}$, а выходное напряжение равно наибольшему из напряжений датчиков токов якорей $I_{я1-2}$ или $I_{я3-4}$. В звене сравнения ЭС2 происходит вычитание сигналов между задатчиком тока якоря и истинным значением тока якоря. Эта разница токов якорей ΔI подается на регулятор тока якоря (РТЯ), а выходной сигнал РТЯ подается на вход «МАКС 2» совместно с выходными сигналами регуляторов максимального напряжения (РМН) и максимального тока возбуждения (РМВ). Выходное напряжение «МАКС 2» равно наибольшему из выходных напряжений регуляторов РТЯ, РМН и РМВ.

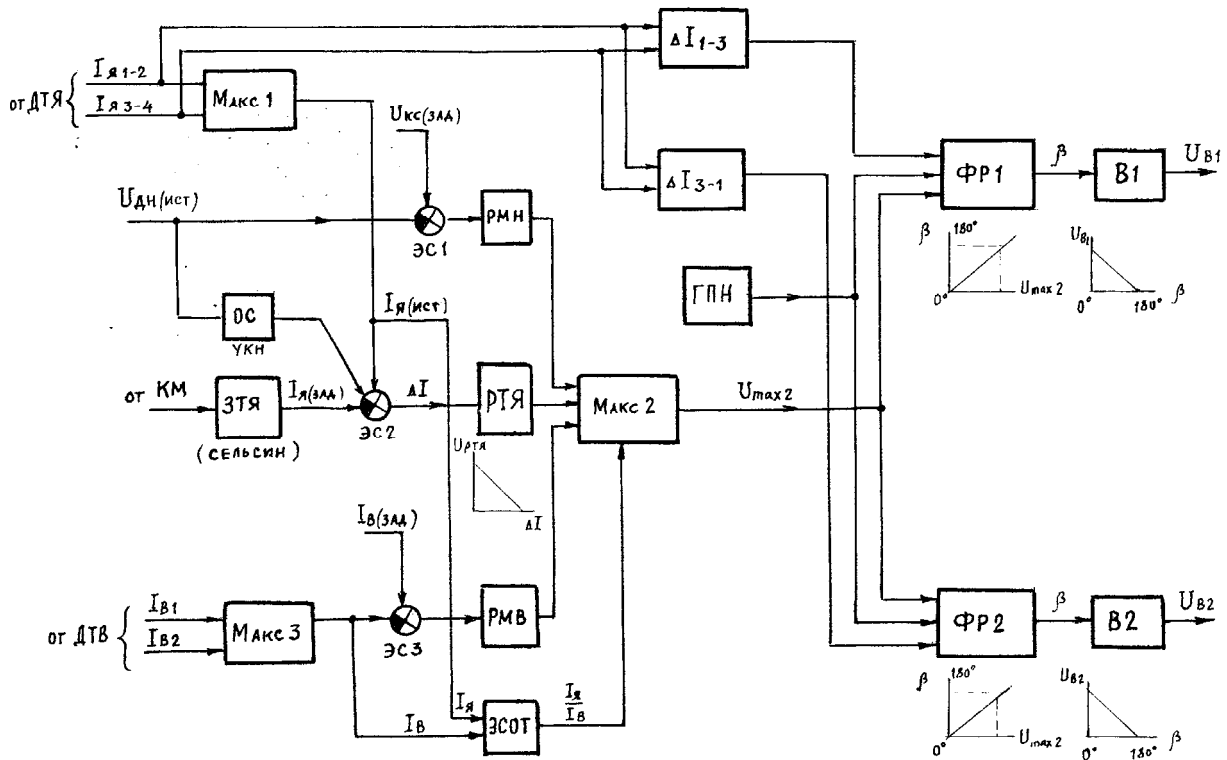


Рис. 1. Функциональная схема САУРТ электровоза постоянного тока с СПВ

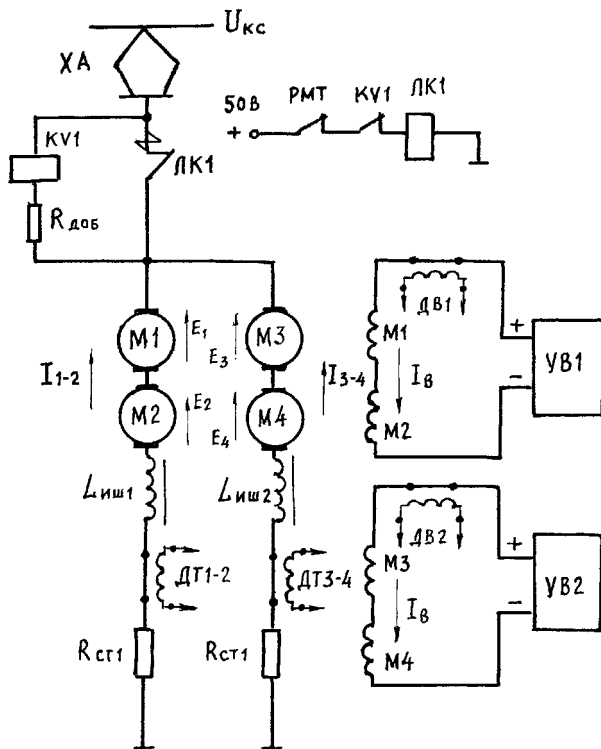


Рис. 2. Принципиальная схема силовой цепи при рекуперативном торможении одной секции на П соединении

На выход РМН подаются: задающий сигнал $U_{кв\ зад}$ и сигнал от датчика напряжения контактной сети (или ЭДС тяговых двигателей) $U_{дн}$. Эти сигналы включены таким образом, что при повышении напряжения выше заданного выходное напряжение РМН возрастало.

На вход РМВ подаются: задающий сигнал $I_{в\ зад}$ и сигнал от элемента «МАКС 3», выходное напряжение которого равно максимальному из напряжений датчиков токов возбуждения $I_{в1}$ или $I_{в2}$. При повышении выходного сигнала «МАКС 3» выше сигнала $I_{в\ зад}$ выходное напряжение РМВ возрастает.

Выходной сигнал «МАКС 2» подается на входы фазорегуляторов ФР1 и ФР2, от которых подаются управляющие импульсы на тиристоры возбудителей В1 и В2. На другие входы фазорегуляторов подается сигнал от генератора пилообразного напряжения (ГПН). Сигнал выравнивания нагрузок генераторов ΔI_{1-3} поступает на вход ФР1, а разница нагрузок генераторов ΔI_{3-1} поступает на вход ФР2. Импульсы на открытие тиристоров возбудителей формируются в момент времени, когда выходное напряжение элемента «МАКС 2» сравнивается с напряжением ГПН. Импульсы на входе ФР, по-

являющиеся в каждом полупериоде, затем распределяются по фазам переменного напряжения питающего возбудителя.

При увеличении выходного сигнала элемента «МАКС 2» угол регулирования β увеличивается и выходные напряжения возбудителей, а следовательно, и токи возбуждения тяговых двигателей уменьшается.

Угол регулирования β_{\max} выбирается из условий, чтобы при максимальном токе возбуждения и угле регулирования β_{\max} коммутация вентилей возбудителя заканчивалась раньше конца полупериода на время запаса δ .

В нормальных условиях работает регулятор РТЯ, два других регулятора РМН и РМВ при этом имеют минимальные сигналы, так как задающие сигналы $U_{\text{кз зад}}$ и $I_{\text{в зад}}$ в нормальных условиях больше текущих значений напряжения контактной сети и токов возбуждения. При повышении тока якоря выше заданного значения на выходе РТЯ повышается напряжение, при этом увеличивается угол регулирования β тиристорных возбудителей и ток возбуждения снижается, что вызовет снижение тока якоря до уровня, соответствующего заданному.

При снижении якорного тока ниже заданного, выходное напряжение РТЯ снижается, угол регулирования возбудителей β уменьшается, напряжение возбудителей увеличивается, вызывая увеличение якорного тока.

При нарушении распределения нагрузок появляются сигналы на элементах выравнивания нагрузок ΔI_{1-3} и ΔI_{3-1} . Эти сигналы действуют таким образом, чтобы токи якорей тяговых двигателей были примерно одинаковыми. Например, если уменьшился ток $I_{\text{я1}}$, а другой $I_{\text{я2}}$ остался прежним, то на вход фазорегулятора ФР1 подается дополнительный отрицательный сигнал от ΔI_{1-2} , который уменьшит угол регулирования ФР1, вызывая увеличение тока возбудителя В1 и увеличение тока $I_{\text{я1}}$. На вход ФР2 будет подан дополнительный положительный сигнал, уменьшающий ток возбудителя В2, и, следовательно, уменьшится ток $I_{\text{я2}}$. Таким образом, токи в каждой ветви якорей окажутся примерно одинаковыми.

В процессе эксплуатации возможны режимы, когда отсутствует потребление рекуперативного тока в контактной сети. В этом режиме канал регулирования тока якоря будет пытаться увеличить ЭДС тяговых двигателей, чтобы удержать якорный ток на заданном уровне.

Чтобы увеличение ЭДС тяговых двигателей не было очень большим в системе предусмотрен канал регулирования максимального напряжения РМН, который ограничит рост напряжения величиной $U_{\text{кз зад}}$, так как в этом случае наибольшим из трех входных сигналов элемента «МАКС 2» будет сигнал РМН.

По мере снижения скорости в процессе торможения растет ток возбуждения и в определенный момент вступает в работу регулятор максимального тока возбуждения, ограничивающий ток возбуждения на заданном уровне. Таким образом регуляторы РМН и РМВ являются регуляторами-ограничителями.

В режиме торможения на высокой скорости поддерживается постоянное отношение $I_{\text{я}}/I_{\text{в}}$ от элемента сравнения отношения токов (ЭСОТ), а затем при понижении скорости наступает режим поддержания заданного тока якоря.

Вся вышеописанная схема автоматического регулирования конструктивно должна быть размещена в двух кассетах блока системы управления.

Включение рекуперативного торможения осуществляется в следующей последовательности.

При помощи селективной рукоятки выбирается схема соединения тяговых двигателей в зависимости от скорости локомотива. Затем при постановке тормозной рукоятки в положение П собирается схема силовых цепей в соответствии с выбранной схемой соединения, при этом остаются не включенными только линейные контакторы. При положении рукоятки на позиции ПТ начинает плавно расти уставка тока возбуждения и вместе с ней растут токи возбуждения тяговых двигателей. Когда сумма ЭДС последовательно включенных якорей тяговых двигателей будет ниже напряжения контактной сети на 80–90 В, произойдет включение линейных контакторов. В цепях якорей установится небольшой ток, соответствующий минимальному тормозному току, заданному датчиком тока ЗТЯ. При дальнейшем вращении тормозной рукоятки задающий сигнал ЗТЯ растет, следовательно, растет уставка тормозного тока. По мере снижения скорости под действием САУРТ будет расти ток возбуждения тяговых двигателей, поддерживая тормозной ток якорей почти на заданном уровне (на 5 % ниже заданного). По мере дальнейшего снижения скорости ток возбуждения достигает своего заданного максимального значения, при этом вступит в действие регулятор максималь-

ного тока возбуждения РМВ, поддерживая постоянным ток возбуждения тяговых двигателей. В этом случае необходимо переходить на следующую группировку тяговых двигателей или отключить рекуперативное торможение, если было последовательное соединение тяговых двигателей.

При отключении рекуперативного тока тяговые двигатели переводятся в моторный режим. Якорный ток при этом имеет небольшую величину, достаточную для того, чтобы сработало реле моторного тока РМТ. Срабатывание РМТ вызывает отключение линейных контакторов. После чего постановкой тормозной рукоятки в положение *О* можно разобрать силовую схему.

Отключение происходит в следующей последовательности. При постановке тормозной рукоятки из положения *ПТ* в положение *П* разрывается цепь питания от возбудителей В1 и В2, следовательно, ЭДС тяговых двигателей уменьшается и наступает момент, когда напряжение в контактной сети становится больше, чем суммарная ЭДС двигателей, возникает моторный ток и при достижении им значения 120 А срабатывает реле моторного тока РМТ, вызывая отключение линейных контакторов.

После снятия тяги, оперируя реверсивно-селективной рукояткой контроллера, машинист собирает схему рекуперации. Тормозной рукояткой устанавливает желаемый ток рекуперации (ток якоря). Система автоматического управления будет поддерживать почти постоянный ток рекуперации, воздействуя на возбуждение тяговых двигателей. Следовательно, сила торможения, будучи пропорциональной произведению тока якоря на поток возбуждения, будет увеличиваться с уменьшением скорости поезда. Если рукояткой установить другое значение якорного (рекуперативного) тока, то это значение тока система будет поддерживать. При малых скоростях и больших якорных токах (около 500 А) вследствие большой тормозной силы может возникнуть юз. В этом случае датчик боксования электровоза срабатывает и своими блок-контактами включает цепь снижения уставки тока якоря. После прекращения юза система плавно восстановит прежний ток якоря. Выход из рекуперации производится установкой тормозной рукоятки в исходное положение.

В данной силовой схеме применена новая схема включения реле рекуперации. Как известно, реле рекуперации подключается параллельно линейным контакторам через

добавочные сопротивления для ограничения тока в цепи катушки реле рекуперации. Реле рекуперации имеет нормальный замкнутый контакт в цепи катушки линейных контакторов (см. рис. 2). При собранной схеме рекуперативного торможения, когда ЭДС генераторов (тяговых двигателей) меньше напряжения контактной сети, включается реле рекуперации, и цепи питания катушек линейных контакторов разомкнуты. Как только суммарная ЭДС генераторов приблизится к значению напряжения контактной сети и станет меньше только на 80–90 В, срабатывает реле рекуперации. Якорь реле отпадает и замыкает нз. контакты и линейные контакторы включаются через 0,15–0,20 с, ЭДС генераторов может успеть превысить напряжение контактной сети на 40–50 В и появится бросок тока рекуперации, если и не превысит напряжения контактной сети, тогда возникает моторный ток, что не желательно. Для исключения появления моторного тока предлагается следующая схема включения реле рекуперации (рис. 3).

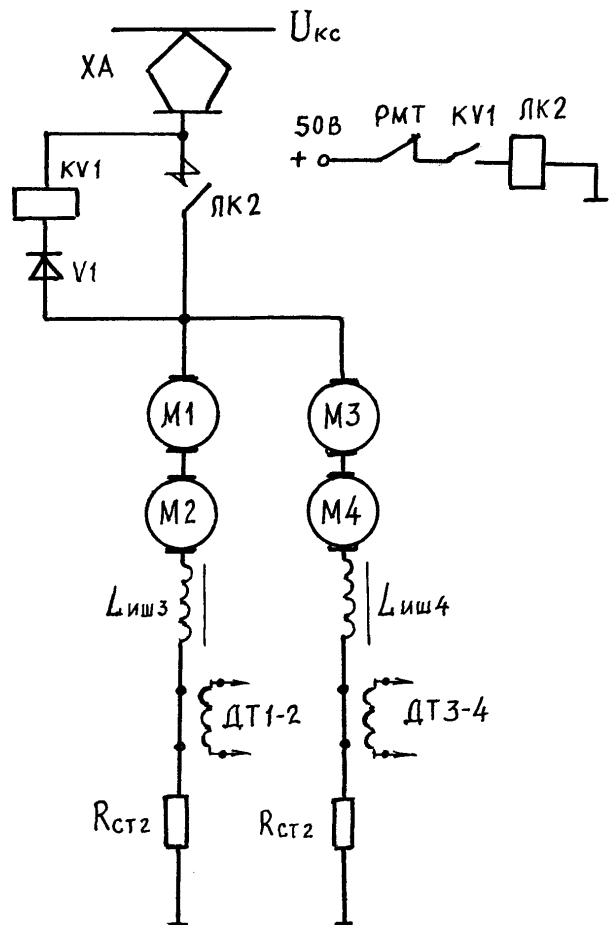


Рис. 3. Схема рекуперативного торможения с изменением включения реле рекуперации

В цепь реле рекуперации вместо добавочного ограничивающего сопротивления включается диод в непроводящем направлении. Реле рекуперации имеет замыкающий контакт в цепи катушки линейных контакторов. В этом случае реле рекуперации включается только тогда, когда суммарная ЭДС генераторов выше напряжения контактной сети на 40–50 В, включаются линейные контакторы и появляется рекуперативный ток. Таким образом устраняется вышеуказанный недостаток.

Разработанная функциональная схема системы автоматического управления рекуперативным торможением на электровозах постоянного тока при питании обмоток возбуждения двигателей от статического возбудителя рекомен-

дуется для использования при разработке блоков САУРТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Висин Н. Г., Власенко Б. Т. и др. Автоматическая рекуперация на электровозе ВЛ8 // Электрическая и тепловозная тяга. – 1982. – № 6. – С. 12–14.
2. Электровоз ВЛ11^М. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1994. – 415 с.
3. Тулупов В. Д. Автоматическое регулирование тяги и торможения электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 367 с.
4. Трахман Л. М. Электрическое торможение электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1965. – 202 с.

Поступила в редколлегию 14.10.03.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЬНОЙ ТЯГИ

Запропоновано методику визначення енергетичної ефективності модульної тяги для забезпечення вантажних залізничних перевезень.

Предложена методика определения энергетической эффективности модульной тяги для обеспечения грузовых железнодорожных перевозок.

A technique of determining power efficiency of modular traction for provision of the freight railway operations is offered in the article.

Графиком движения поездов для каждого направления железнодорожной линии, исходя из технических возможностей тяговых средств и полезной длины приемо-отправочных путей, устанавливается определенная норма массы состава. Однако на практике из-за, главным образом, различия погонной нагрузки вагонных струй масса поезда носит случайный характер.

Норма массы соответствует полному использованию мощности тягового средства, поэтому отклонение массы поезда от нормы в меньшую сторону приводит к появлению избытка тяговой мощности.

Избыточная мощность не может быть использована на повышение скорости, поскольку в графике движения независимо от массы все поезда прокладываются с одной и той же расчетной ходовой скоростью. Поэтому наличие избыточной мощности отрицательно влияет на экономические показатели перевозочного процесса, так как приводит к росту затрат на обновление (пополнение) и содержание тягового парка, а также к увеличению расхода энергии на тягу поездов.

Уменьшить избыточную мощность тяги, а значит и суммарную мощность потребного парка тяговых средств, можно за счет использования модульной тяги, то есть за счет вождения поездов тяговыми сцепами, сформированными из отдельных тяговых модулей из расчета, чтобы их мощность была достаточной для вождения конкретного поезда.

Под тяговым модулем подразумевается тяговая единица, пригодная для использования как в составе сцепа, так и самостоятельно.

Научные и методологические основы выбора оптимальных внешних параметров тяговых модулей и определения обусловленной их использованием экономии затрат на обновление

(пополнение) эксплуатируемого парка изложены в [1–3]. Однако для более полной оценки экономической целесообразности применения модульной тяги следует изучить вопросы её энергетической эффективности, поскольку в настоящее время затраты на энергоносители вносят весомую составляющую в расходы, определяющие себестоимость перевозок.

Несмотря на важность энергетического аспекта применения модульной тяги, он не нашел до настоящего времени должного освещения в литературе и настоящая статья – попытка восполнить этот пробел.

Снижение расхода энергии на тягу поездов при модульной тяге обусловлено снижением доли массы транспортного средства в массе поезда и снижением затрат энергии на так называемые собственные нужды.

Установим взаимосвязь расхода энергии на движение поезда и массы тягового сцепа. Определенные ниже необходимые выкладки будут выполнены применительно к электрифицированным железным дорогам, однако полученные результаты могут быть легко распространены на любой вид тяги.

Пусть независимо от массы поезда и мощности номинального режима тягового сцепа реализуется управление, которому соответствует движение поезда на заданном участке с изменением фазовых координат состояния в соответствии с некоторой кривой скорости $V(S)$.

Отнесенный к 1 т массы состава Q расход электроэнергии на тягу представим как [1]

$$a = (1 + k_p) \eta^{-1} \int_{S_n}^{S_k} f_k(S) dS, \quad (1)$$

где k_p – коэффициент, равный отношению массы тягового сцепа P к массе состава Q , то

есть $k_p = P/Q$; η – среднее значение к. п. д. тягового модуля; S_n, S_k – координаты пути, соответствующие началу и концу участка; f_κ – удельная (отнесенная к единице массы поезда) сила тяги.

На основании уравнения движения поезда зависимость $f_\kappa(S)$ определяется по заданной кривой скорости $V(S)$ как

$$f_\kappa(S) = \frac{VdV}{\xi dS} + w_o(V(S)) + i(S), \quad (2)$$

где V – скорость движения поезда; ξ – размерный коэффициент, зависящий от принятых единиц измерения физических величин; w_o – основное удельное сопротивление движению поезда в режиме тяги; $i(S)$ – продольный профиль пути заданного участка.

Сила тяги должна удовлетворять условию

$$0 \leq f_\kappa(S) \leq \overline{f_\kappa}(V(S)),$$

где $\overline{f_\kappa}(V)$ – предельная тяговая характеристика.

С учетом (2) на основании (1) получим

$$a = \frac{1+k_p}{\eta} \left[\int_{S_n}^{S_k} w_o(V(S)) dS + \int_{S_n}^{S_k} i(S) dS + \frac{V_k^2 - V_n^2}{2\xi} \right], \quad (3)$$

где $V_n = V|_{S=S_n}$ и $V_k = V|_{S=S_k}$.

Влияние величины избыточной мощности тяги на расход электроэнергии в выражении (3) отражается через коэффициент k_p , который фигурирует в множителе перед квадратной скобкой, а также в выражениях, определяющих величину основного сопротивления движению w_o [4].

Мощность современных грузовых электровозов в расчетном режиме ограничивается условиями сцепления, поэтому минимальная масса тягового сцепа, необходимая для вождения поездов заданной массы, равна

$$P_o = \frac{Q(w_o''(V) + i_p)}{1000\psi_\kappa(V) - (w_o'(V) + i_p)} \Big|_{V=V_p}, \quad (4)$$

где ψ_κ – расчетный коэффициент сцепления; w_o'' – удельное основное сопротивление движению состава; w_o' – удельное основное сопро-

тивление движению локомотива в режиме тяги; i_p – расчетный подъем; V_p – расчетная скорость тягового модуля.

Величине P_o соответствует минимальное значение коэффициента $k_{po} = k_p|_{P=P_o}$ и равенство мощности номинального режима и мощности, потребной для ведения поезда, то есть отсутствие избыточной мощности.

Если мощность сцепа превышает потребную для ведения поезда, то масса такого сцепа $P > P_o$, то есть имеется избыток массы, а коэффициент $k_p > k_{po}$.

Обозначим относительную величину избыточной массы как $\delta_p = (P - P_o)/P_o$.

Тогда будет иметь место соотношение

$$k_p = k_{po}(1 + \delta_p). \quad (5)$$

Допустим, что за время рейса потенциальная и кинетическая энергия поезда не изменится. Тогда расход электроэнергии будет определяться работой по преодолению сил сопротивления движению

$$a = \frac{1+k_p}{\eta} \int_{S_n}^{S_k} w_o(V(S)) dS. \quad (6)$$

Следует отметить, что на основании (6) для снижения расхода энергии на тягу за счет применения модульной тяги получим оценку снизу, так как здесь не учитывается возможное увеличение потенциальной энергии поезда и потери в тормозах.

Относительную величину увеличения расхода энергии на тягу, обусловленную наличием избыточной мощности тяги (массы сцепа), представим как

$$\alpha(\delta_p) = \frac{a(k_p)}{a_o} - 1, \quad (7)$$

где $a_o = a|_{k_p=k_{po}}$.

На основании (6) запишем

$$\frac{a}{a_o} = \frac{1+k_p}{1+k_{po}} \cdot \frac{\int_{S_n}^{S_k} w_o(k_p, V) dS}{\int_{S_n}^{S_k} w_o(k_{po}, V) dS}. \quad (8)$$

Введем в рассмотрение понятие так называемого среднего по пути сопротивления движению поезда w_{os} , то есть такое, что

$$\int_{S_H}^{S_K} w_o(V(S))dS = w_{os}(S_K - S_H).$$

Тогда вместо (8) получим

$$\frac{a}{a_o} = \frac{1+k_p}{1+k_{po}} \cdot \frac{w_{os}(k_p)}{w_{os}(k_{po})}. \quad (9)$$

Согласно данным [5] среднее по пути сопротивление движению w_{os} можно представить в виде

$$w_{os} = k_w w_{oc},$$

где w_{os} – сопротивление движению поезда при средней скорости движения на участке; k_w – коэффициент пропорциональности.

Согласно [4]

$$w_{oc} = \frac{k_p w'_{oc} + w''_{oc}}{1+k_p}, \quad (10)$$

а коэффициенты k_w для тягового сцепа и для состава можно принять одинаковыми.

С учетом (10) на основании (9) и (7) получим:

$$\frac{a}{a_o} = \frac{k_p w'_{oc} + w''_{oc}}{k_{po} w'_{oc} + w''_{oc}}; \quad \alpha(\delta_p) = \frac{k_{po} \delta_p}{k_{po} + \rho}, \quad (11)$$

где $\rho = w''_{oc}/w'_{oc}$.

Выражение (11) позволяет свести задачу об энергетической эффективности модульной тяги к задаче определения избыточной массы тягового сцепа.

Очевидно, что ρ есть функцией скорости и характеризующих состав поезда параметров (нагрузка от оси на рельсы и процентное содержание в составе вагонов различных типов).

Величина k_{po} определяется по вытекающей из выражения (4) формуле

$$k_p = \frac{w''_o(V) + i_p}{1000\psi_\kappa(V) - (w'_o(V) + i_p)} \Big|_{V=V_p}. \quad (12)$$

Пусть для заданного участка известен закон распределения массы поездов. Тогда, используя выражение (4), можно получить закон распределения потребной массы тягового сцепа $f_p(y)$, показанный на рис. 1.

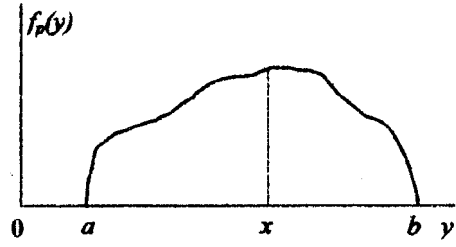


Рис. 1. Распределение вероятностей потребной массы тягового сцепа

Отрезки $0a$ и $0b$ представляют наименьшее и наибольшее значения потребной массы тягового сцепа.

Для случая, когда тяговые сцепы формируются из однотипных модулей, а минимальная мощность модуля выбирается так, что соответствующая ей масса модуля удовлетворяет условию $x \geq a$, избыточная масса тяговых сцепов, приходящаяся на один поезд, составит

$$y_p = \sum_{i=0}^n \int_{ix}^{(i+1)x} [(i+1)x - y] f_p(y) dy, \quad (13)$$

где x – масса тягового модуля; n – целая часть числа b/x .

При выводе уравнения (13) учтено, что:

$$\int_a^x (x-y) f_p(y) dy = \int_0^x (x-y) f_p(y) dy;$$

$$\int_{nx}^b (x-y) f_p(y) dy = \int_{nx}^{(n+1)x} [(n+1)y - y] f_p(y) dy,$$

$$\text{так как: } \int_0^a f_p(y) dy = 0; \quad \int_b^{(n+1)x} f_p(y) dy = 0.$$

Среднее значение мощности цепей собственных нужд $P_{сн}$ определяется номинальной мощностью N_n тягового модуля

$$P_{сн} = k_{сн} N_n, \quad (14)$$

где коэффициент $k_{сн}$ зависит от типа локомотива и может быть определен на основании данных, приведенных в [6].

При заданной расчетной скорости V_p и массе состава Q мощность номинального режима тягового модуля, кВт, [1]

$$N_n = 2,725\psi_{kp} k_N k_p V_p Q, \quad (15)$$

где k_N – коэффициент, равный отношению мощности номинального режима к мощности, реализуемой на расчетном подъеме.

Из выражений (14) и (15) следует, что рост удельного расхода энергии на собственные нужды $\alpha_{cn} = \frac{a_{cn}(k_p) - a_{cn}(k_{po})}{a_{cn}(k_{po})}$, обусловленный

увеличением массы тягового сцепа P по отношению к его потребной величине P_o , можно определить как

$$\alpha_{cn} = k_p / k_{po} - 1. \quad (16)$$

Полученные выше зависимости позволяют определить оценку энергетической эффективности модульной тяги. Данные такого исследования применительно к железным дорогам Украины будут приведены в отдельной статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гетьман Г. К. Выбор оптимальных параметров перспективных электровозов для грузового

движения // Залізничн. транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 47–51.

2. Гетьман Г. К. Оптимальная стратегия обновления электровозного парка // Залізничн. транспорт України. – 2002. – № 5. – С. 17–19.
3. Гетьман Г. К. Определение рационального мощностного ряда грузовых электровозов для железных дорог Украины // Залізничн. транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 29–34.
4. Гетьман Г. К. Математическая модель поезда для производства тяговых расчетов в задачах выбора параметров тяговых средств // Транспорт: Зб. наук. пр. Випуск 1. – Д.: Наука і освіта, 1999. – С. 75–79.
5. Тихонов К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов // Труды МИИТ. Вып. 172. – М.: Транспорт, 1964. – 282 с.
6. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

Поступила в редколлегию 14.10.03.

Л. В. ДУБИНЕЦЬ (ДІПТ), О. І. МОМОТ (Придніпровська залізниця)

ВПЛИВ УНІФІКАЦІЇ РЕЛЕЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ

У статті з використанням теорії імовірності досліджено вплив зменшення типів запасних реле на рівень їхньої безвідмовної роботи. Показана доцільність проведення уніфікації усіх видів реле, які застосовуються у системах керування рухомим складом залізниць, з використанням сучасних мікроконтролерів.

В статье с использованием теории вероятности исследовано влияние уменьшения типов запасных реле на уровень их безотказной работы. Показана целесообразность проведения унификации всех видов реле, которые применяются в системах управления подвижным составом железных дорог, с использованием современных микроконтроллеров.

In clause with use of the theory of probability the influence of reduction of types of spare relays on a level of their trouble-free work is investigated. The expediency of realization of unification of all kinds of the relay is shown which are applied in control systems of the rolling stock of iron roads, with use of modern microcontrollers.

У теперішній час є реальна можливість суттєво підвищити уніфікацію релейних елементів систем керування рухомим складом (РС) шляхом розробки реле із застосуванням мікропроцесорної техніки. В університеті та на Придніпровській залізниці накопичено певний досвід з уніфікації реле РС. Наприклад, проходять експлуатаційні випробування дослідні зразки уніфікованого реле часу, розробленого із застосуванням сучасних мікроконтролерів. Це реле забезпечує витримку часу до 100 с та має такі параметри, що може бути застосовано замість реле часу усіх типів, які використовуються у схемах діючого РС. Є певний досвід з розробки та застосування уніфікованих проміжних реле, реле часу, напруги, диференціальних та перевантаження.

При використанні уніфікованих реле виникає задача визначення їх раціонального запасу при обслуговуванні РС. Критерієм при вирішенні цієї задачі можуть бути як економічні, так і технічні показники. Враховуючи, що вартість реле та експлуатаційні витрати на їх утримання відносно невеликі, приймаємо за критерій технічні показники – забезпечення якомога більшого значення ймовірності $P_n(T_{заб})$ безвідмовної роботи системи керування. Кількість запасних реле даного виду (реле часу, напруги, проміжне і т. п.) повинна бути не менша, ніж потреба у них за період $T_{заб}$. Період $T_{заб}$ – час від моменту встановлення факту несправності реле під час ремонту (технічного огляду) до повного його відновлення. Мається на увазі, що несправне реле замінили відразу запасним, а перше віддали у цех для відновлення. Кількість

запасних реле відповідає кількості відмов реле даного виду за період $T_{заб}$.

Параметри елементів уніфікованого електронного реле можуть бути прийняті такими, що кількість відмов припрацювання буде незначна. Це можливо досягнути за рахунок, наприклад, запасу по потужності, зворотній напрузі і т. п. Тому при ретельному підборі елементів реле та при якісному контролі процесу його складання можна вважати, що відмови під час припрацювання відсутні.

Основними є раптові відмови, які виникають у період нормальної експлуатації і які добре описує експоненціальний закон розподілу часу безвідмовної роботи [1; 2]. При достатньо великій кількості одиниць рухомого складу можна вважати, що зміна реле кожного типу відбувається із сталою інтенсивністю.

Потік відмов реле характеризується:

1) властивістю стаціонарності, оскільки ймовірність відмови реле у інтервалі часу $T_{заб}$ залежить тільки від тривалості інтервалу часу $T_{заб}$ і не залежить від початкового моменту t_0 , від якого відраховується $T_{заб}$;

2) відсутністю післядії, оскільки для будь-яких відрізків часу, що не перетинаються, кількість реле, які відмовили за час $T_{заб}$, не залежить від кількості відмов будь-які інші відрізки часу;

3) умовою ординарності, оскільки ймовірність виникнення на елементарному відрізку часу $\alpha T_{заб}$ двох або більше відмов мізерно мала в порівнянні з ймовірністю виникнення однієї відмови.

З урахуванням вищенаведеного приймаємо, що потік відмов реле – найпростіший пуассонівський з математичним сподіванням $\alpha = \lambda T_{\text{заб}}$, де λ – інтенсивність потоку відмов для реле даного виду (реле часу, проміжні і т. д.). Досвід експлуатації показує, що можливо прийняти $T_{\text{заб}} = 24$ год. За час $T_{\text{заб}}$ усі несправні реле повинні бути відремонтовані.

При наявності m запасних реле даного виду ймовірність $P_n(T_{\text{заб}})$ у відповідності із законом Пуассона запишемо так:

$$P_n(T_{\text{заб}}) = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad (m = 1, 2, \dots, \infty), \quad (1)$$

де $a = \frac{K_{\text{м.з}} n T_{\text{заб}}}{m_t}$ – середня витрата реле даного виду за інтервал часу $T_{\text{заб}}$ при середньому напруженні до відмови $m_t = \frac{1}{\lambda}$;

λ – інтенсивність потоку відмов для реле даного виду;

n – загальна кількість реле даного виду, яка знаходиться в експлуатації;

$K_{\text{м.з}}$ – коефіцієнт марних витрат. Цей коефіцієнт враховує те, що кількість реле, які замінюють при експлуатації РС завжди більше кількості відмов (частина реле замінюється марно). Чим менша кваліфікація спеціалістів, тим більше марних замін. Із досвіду приймаємо для електронних уніфікованих реле $K_{\text{м.з}} = 1, 2, \dots, 1, 3$.

Тобто за допомогою запасних реле відновлюється працездатність системи керування при фіктивному потоці відмов, для якого інтенсивність відмов дорівнює $K_{\text{м.з}} \lambda$.

Конструкція реле та спосіб їх включення в схему повинні забезпечувати їх заміну за час $\tau < \tau_{\text{т.о}}$, де $\tau_{\text{т.о}} = 1$ год – час технічного огляду РС.

Ймовірність $P_n(T_{\text{заб}})$ з урахуванням відновлення і наявності m запасних реле може бути визначена за формулою ймовірності складної події:

$$P_n(T_{\text{заб}}, V) = P_1(T_{\text{заб}}) V(\tau_{\text{т.о}}) P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}) + \\ + P_2(T_{\text{заб}}) V^2(\tau_{\text{т.о}}) P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}) + \dots \\ \dots + P_i(T_{\text{заб}}) V^m(\tau_{\text{т.о}}) P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}), \quad (2)$$

де $P_n(T_{\text{заб}})$ – ймовірність виникнення рівно m відмов реле даного виду за час $T_{\text{заб}}$, яка визначається за формулою (1);

$V(\tau_{\text{т.о}})$ – ймовірність заміни несправного реле за час $\tau \leq \tau_{\text{т.о}}$;

$P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}})$ – ймовірність безвідмовної роботи системи керування за умови відсутності запасних реле;

$P_i(T_{\text{заб}})$ – ймовірність виникнення i відмов реле даного типу за час $T_{\text{заб}}$.

Оскільки $\tau_{\text{т.о}} \ll T_{\text{заб}}$, то:

$$P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}) \approx e^{-a}. \quad (3)$$

Із рівнянь (1), (2), (3) отримуємо

$$P_n(T_{\text{заб}}, V) = e^{-a} \sum_{k=0}^m V^k(\tau_{\text{т.о}}) \frac{a^k}{k!}. \quad (4)$$

При умові $\tau < \tau_{\text{т.о}}$ приймаємо $V(\tau_{\text{т.о}}) = 1$, тобто за час $\tau_{\text{т.о}} = 1$ год несправне реле буде замінено.

Тоді із рівняння (4) отримуємо

$$P_n(T_{\text{заб}}) = e^{-a} \sum_{k=0}^m \frac{a^k}{k!} = \\ = 1 - \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{a^k}{k!} e^{-a} = 1 - q(m+1), \quad (5)$$

де $q = \sum_{k=m}^{\infty} \frac{a^k}{k!} e^{-a}$ – табульована функція [3].

Із формули (5) видно, що зменшення кількості запасних реле m за рахунок уніфікації реле даного виду підвищує ймовірність безвідмовної роботи системи керування $P_n(T_{\text{заб}})$.

Реальні можливості підвищення $P_n(T_{\text{заб}})$, наприклад, для реле часу за рахунок зменшення m (завдяки уніфікації) можна оцінити за даними наведеними в таблиці.

Таким чином, в експлуатації знаходиться біля десяти тисяч реле часу дев'ятнадцяти типів. Частка реле кожного типу дорівнює від 0,001 (РЭВ-818) до 0,2 (РА-226). У залежності від долі цієї частки потрібно мати в запасі певну кількість реле кожного типу. Очевидно, що при цьому значення m у формулі (5) буде досить великим.

Якщо ж в ідеальному випадку усі дев'ятнадцять типів реле замінити одним типом, то m значно зменшиться, а $P_n(T_{\text{заб}})$ суттєво збільшиться. Аналогічний ефект буде і при уніфікації інших типів реле.

Аналіз уніфікації реле часу в схемах РС

Серія РС	Тип реле, позначення у схемі	Кількість реле на усіх одиницях РС даної серії по мережі залізниць	Частка даного типу реле в загальній кількості n реле по мережі залізниць
ЭР-9м	РЭВ-811 (РВП)	540	0,054
	РЭВ-882 (РВК)	500	0,050
	РЭВ-884 (РВД)	500	0,050
ЧС2	ТК (407,1-4)	680	0,068
	ТВ (418,438)	340	0,034
Тепловоз 2М62	ВЛ-50	300	0,030
	РЭВ-812	300	0,030
Тепловоз 2ТЭ116	РЭВ-800 (РВ-2, РВ-3, РВ-4)	1800	0,187
ДР1	РВП-2	150	0,015
Вагони 61-425 (ЦМВО-66)	РЭВ-814	500	0,050
ЧС4	ТЛb-4 (263, 371)	200	0,020
	CRINI (356)	100	0,010
	RP40LTL (851С, 853С)	200	0,020
ЭР-2Р	РЭВ-818 (РВД1)	10	0,001
	РЭВ-811 (РВД2)	10	0,001
ВЛ10, ВЛ10 ^у	ЭВ-143 (134-1)	200	0,020
	РЭВ-294 (278-1)	600	0,060
ВЛ60 ^к , ВЛ80 ^к	РЭВ-292 (204, 205)	400	0,040
	РЭВ-312 (211, 212)	600	0,060
Тепловоз ЧМЭ-3	РА-226	2000	0,200
Разом	19 типів	$n = 9930$	1

БИБЛИОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шишенок А. А. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – М.: Советское радио, 1964. – 283 с.
2. Надежность. Теория и практика / Под ред. Б. Р. Левина. – М.: Мир, 1965. – 524 с.
3. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: Советское радио, 1970. – 288 с.
4. Момот А. И. Унификация релейных элементов в схемах подвижного состава железных дорог Украины: Дис..., ДИИТ, 1999.

Надійшла до редколегії 08.09.03.

ІМОВІРНІСНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ КОРПУСІВ БУКС ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Виконано імовірнісне прогнозування параметричної надійності корпусів букс колісних пар електровозів за критерієм зносу. Знайдено закон розподілу величини діаметра D корпусу при будь-якому значенні пробігу l електровоза. Виконано прогнозування величини імовірності відмови корпусів букс різних типів електровозів за пробіг до ПР 3, тобто за $L_k - L_0$. При цьому розрахунки виконано для нових корпусів, відновлених наплавкою і залізненням.

Выполнено вероятностное прогнозирование параметрической надежности корпусов букс колесных пар электровозов по критерию износа. Найден закон распределения величины диаметра D корпуса при произвольном значении пробега l электровоза. Выполнено прогнозирование вероятности отказа корпусов букс разных типов электровозов за пробег до ПР 3, то есть $L_k - L_0$. При этом расчеты выполнены для новых корпусов, восстановленных наплавкой и железнением.

The authors have performed the probability forecasting of parametrical reliability of wheelset axlebox frames of electric locomotives according to criterion of wear. The law of distribution of the frame diameter value D at an arbitrary value of the locomotive run l has been found. A probability forecast of axlebox frames failure in different types of electric locomotives has been performed for the run value of up to TR 3, that is $L_k - L_0$. The calculations have been made for new frames, restored by surfacing and iron plating.

Як відомо [1–3], із двох практично існуючих методів прогнозування, детерміновано-аналітичного і імовірнісного, більш достовірним є останній і тим більше, коли мова йде про випадкові величини. Тому одержимо вирази для імовірнісного прогнозування діаметрів D корпусів букс [4; 5]. Для цього потрібно знайти закон розподілення величини за певний пробіг ($L_k - L_0$) електровоза.

Нами були проведені натурні (контрольні) проміжні виміри діаметра букс таким чином. На ПР 3 на виправленому, із привареними новими налічниками, корпусі букси перед постановкою на електровоз вимірювали і фіксували внутрішній діаметр, потім буксу позначали набивкою умовного номера в декількох місцях. Таким операціям піддали 50 напвлених і 50 невідновлених корпусів букс, а також 20 залізнених букс.

Збір статистичних даних здійснювали на ПР 3 із фіксацією даних. Електровози з позначеними буксами відслідковували, букси знімали, розбирали і після ретельного очищення корпус обмірювали.

На підставі вищевикладеного побудовано залежності середнього значення зносу $\bar{\delta}$ і середньоквадратичного відхилення діаметра σ_{δ}

(рис. 1) експлуатаційного зносу безпосередньо корпусів букс.

Їх апроксимуючі вирази для корпусів букс електровозів ВЛ8 мають вигляд:

$$\left. \begin{array}{l} \text{із Ст 25Л : } \bar{\delta}(l) = 2,039 \cdot 10^{-6} l; \\ \text{залізнених : } \bar{\delta}(l) = 1,617 \cdot 10^{-6} l; \\ \text{напвлених : } \bar{\delta}(l) = 2,214 \cdot 10^{-6} l. \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{із Ст 25Л : } \sigma_{\delta}(l) = 5,04 \cdot 10^{-4} \sqrt{l}; \\ \text{залізнених : } \sigma_{\delta}(l) = 4,44 \cdot 10^{-4} \sqrt{l}; \\ \text{напвлених : } \sigma_{\delta}(l) = 4,15 \cdot 10^{-4} \sqrt{l}. \end{array} \right\} \quad (2)$$

Для визначення параметричної надійності спочатку знайдемо закон розподілу величини D при будь-якому значенні пробігу l електровоза. У загальному випадку величина діаметра визначається як

$$D(l) = D_0 + \delta(l), \quad (3)$$

де D_0 – початкове значення діаметра, при пробігу $l = L_0$; δ – розмір зносу корпусу, що залежить від пробігу.

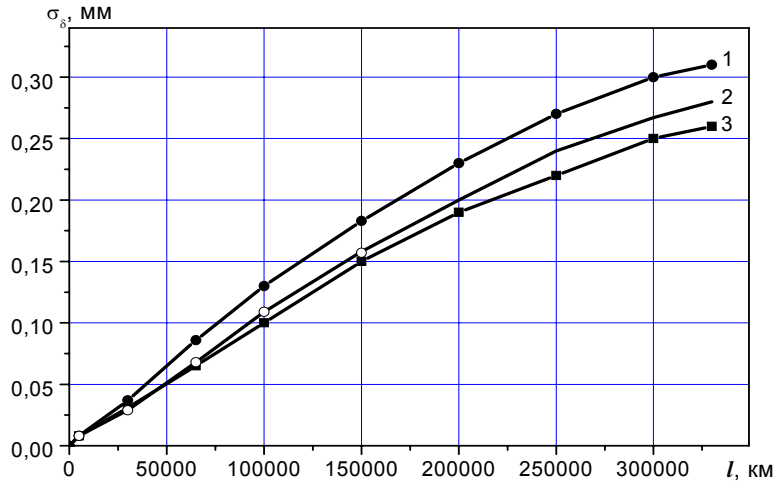


Рис. 1. Залежність середньоквадратичного відхилення σ_δ зносу від пробігу l електровозів ВЛ8 для корпусів:
1 – без покриття (Ст 25Л); 2 – залізних; 3 – наплавлених

Тоді, використовуючи залежності (1), (2), запишемо вирази середнього значення \bar{D} і середньоквадратичного відхилення σ_D діаметра корпусу у функції пробігу:

$$\bar{D}(l) = \bar{D}_0 + \bar{\delta}(l) = \bar{D}_0 + al, \quad (4)$$

де a – постійна апроксимації у виразах (1);

$$\sigma_D(l) = \sqrt{\sigma_{D_0}^2 + \sigma_\delta^2}, \quad (5)$$

оскільки $\sigma_{D_0} \ll \sigma_\delta$, то

$$\sigma_D(l) \approx \sigma_\delta(l) = b\sqrt{l}, \quad (6)$$

де b – постійна апроксимації у виразах (2).

Наші виміри величини D_0 показали, що вона є величиною випадковою і розподілена за нормальним законом. Також експериментальні дослідження корпусів букс електровозів ВЛ8, що експлуатуються в локомотивному депо Нижньодніпровськ-Вузол, електровозів ЧС, що ремонтуються на Запорізькому електровозоремонтному заводі, а також електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82, що ремонтуються на Львівському локомотиворемонтному заводі, свідчать про те, що при довільному пробігу l_i знос δ розподіляється за законом відсіченого Гаусса. Тоді, з урахуванням виразів (4), (6), величина D при будь-якому l_i розподіляється за нормальним законом

$$f_1(D/l_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_D(l_i)} e^{-\frac{[D-\bar{D}(l_i)]^2}{2\sigma_D^2(l_i)}}. \quad (7)$$

Оскільки величини \bar{D} і σ_D змінюються від величини пробігу l за функціональними залежностями (4) і (6), то знайдемо їхні імовірнісні закони розподілу, користуючись відомою формулою розподілу функції випадкового аргументу [6]. При цьому припустимо, що закон розподілу величини пробігу l , як аргументу функцій (4), (6), в інтервалі пробігу електровоза $L_k - L_0$ є законом рівної імовірності:

$$\varphi(l) = \frac{1}{L_k - L_0}, \quad L_0 \leq l \leq L_k. \quad (8)$$

Функція, зворотна функції $\bar{D}(l)$ за формулою (4), має вигляд

$$l(\bar{D}) = \frac{\bar{D} - \bar{D}_0}{a}, \quad (9)$$

а її похідна

$$l'(D) = \frac{1}{a}. \quad (10)$$

Тоді закон розподілу середнього значення \bar{D} визначиться як

$$f_2(\bar{D}) = \frac{1}{a(L_k - L_0)}. \quad (11)$$

Аналогічно для середньоквадратичного відхилення σ_D : функція, зворотна функції σ_D за (6), має вигляд

$$l(\sigma_D) = \frac{\sigma_D^2}{b^2}, \quad (12)$$

а її похідна

$$l'(\sigma_D) = \frac{2\sigma_D}{b^2}. \quad (13)$$

Тоді закон розподілу середньоквадратичного відхилення запишеться як

$$f_3(\sigma_D) = \frac{2\sigma_D}{b^2(L_k - L_0)}. \quad (14)$$

Сумарний закон розподілу величини діаметра D корпусу букси за пробіг $L_k - L_0$ визначиться послідовною композицією законів (7), (11) і (14) [7; 6]

$$f_{\Sigma}(D) = f_1(D|l_i) * f_2(\bar{D}) * f_3(\sigma_D) \quad (15)$$

і прийме загальний вигляд:

$$f_{\Sigma}(D) = f(D_{L_0} \leq D \leq D_{L_k}) = \frac{2\sigma_D}{ab^2(L_k - L_0)^2 \sqrt{2\pi}} \int_{L_0}^{L_k} \frac{1}{b\sqrt{l}} e^{-\frac{[D - (\bar{D}_0 + al)]^2}{2b^2l}} dl. \quad (16)$$

Чисельно цей сумарний розподіл діаметра корпусу може бути отримано аналітично за (16) або шляхом графічного додавання декількох нормованих розподілів $f_1(D|l_i)$ згідно з (7). Тоді імовірність прогнозування V_D величини D в області $D_{L_0} \leq D \leq D_{L_k}$ за критерієм зносу корпусу визначиться

$$V_D = 1 - \int_0^{D_p} f_{\Sigma}(D) dD = 1 - \int_0^{D_p} \left[\frac{2 \cdot \sigma_D}{a \cdot b^2 \cdot (L_k - L_0)^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \times \int_{L_0}^{L_k} \frac{1}{b \cdot \sqrt{l}} e^{-\frac{[D - (\bar{D}_0 + a \cdot l)]^2}{2b^2l}} dl \right] dD. \quad (17)$$

За одержаними формулами (16) і (17) було виконано прогнозування величини імовірності відмови корпусів букс різних типів електровозів за пробіг до ПР 3, тобто за $L_k - L_0$. При цьому розрахунки виконано для нових корпусів і відновлених наплавкою і залізненням.

На рис. 2–4 побудовано так звані миттєві для певних пробігів (криві 1–4) і сумарний (крива 5) імовірнісні закони розподілення величини діаметра корпусів букс електровозів ЧС2 (нових), ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82 (наплавлених) та ВЛ8 (залізнених). Імовірність відмови корпусів букс V_D , тобто вихід величини діаметра D корпусу за допустиме значення $D_{\text{доп}} = 321$ мм (для електровозів типу ВЛ та ЧС4, ЧС7) і $D_{\text{доп}} = 400$ мм (для електровозів типу ЧС2), що розраховано за формулою (17), на цих рисунках зображено заштрихованими площами відповідно S . Для електровозів ВЛ8 чисельно зазначені імовірності відмов склали: 0,0769 для нових, із Ст 25 Л, 0,1778 – відновлених наплавкою і 0,0219 – відновлених залізненням корпусів букс.

У результаті одержано, що імовірність відмови корпусів букс за межовим значенням їх діаметра для електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82 склали 0,0877 – для нових і 0,1853 – наплавлених корпусів. Імовірність відмови корпусів букс електровозів ЧС2 склали 0,068, електровозів ЧС4 – 0,0296 і електровозів ЧС7 – 0,0256. Таким чином, для електровозів ВЛ8 через 330 тис. км (ПР 3) на кожну 1000 буксових вузлів вийде за встановлені межі по діаметру (321,00 мм) – 77 нових корпусів букс; наплавлених – 176 букс; залізнених – 33. Аналогічно, для електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82 через ≈ 370 тис. км пробігу – 70 нових корпусів букс; наплавлених – 171 букс. Для електровозів ЧС2 через 350 тис. км умовно відмовлять – 68 корпусів букс; для ЧС4 через 350 тис. км пробігу – 30 корпусів букс; для ЧС7 через 400 тис. км пробігу – 26 корпусів.

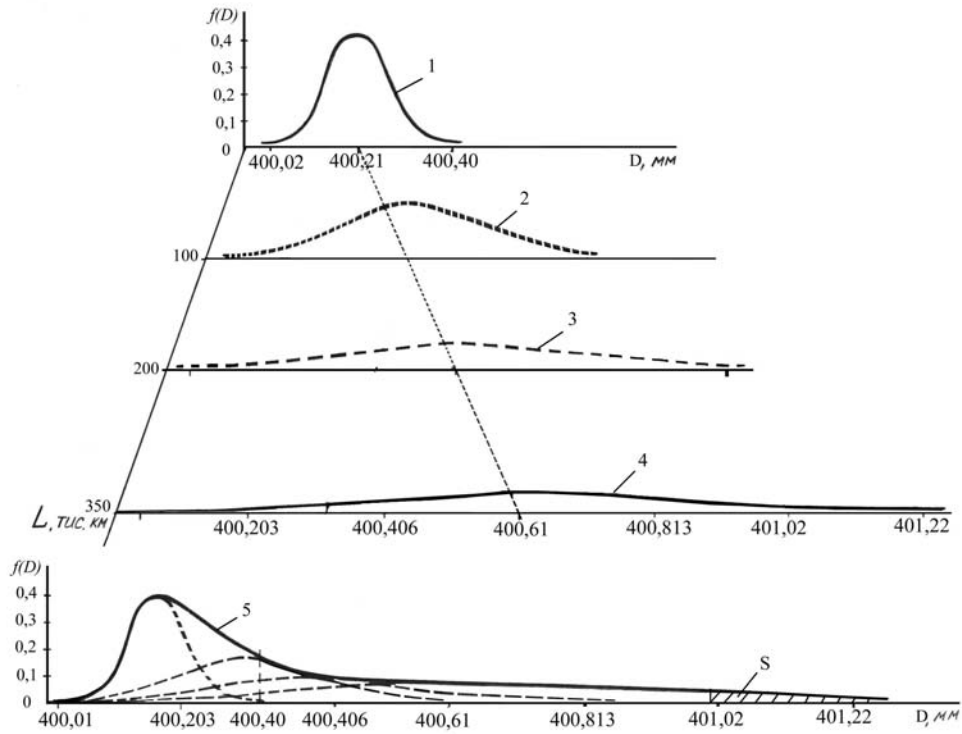


Рис. 2. Миттеві (криві 1–4) при пробігах відповідно 0; 100; 200 і 350 тис. км та сумарний (крива 5) закони розподілення внутрішнього діаметра нових із Ст 25 Л корпусів букс електровозів ЧС2

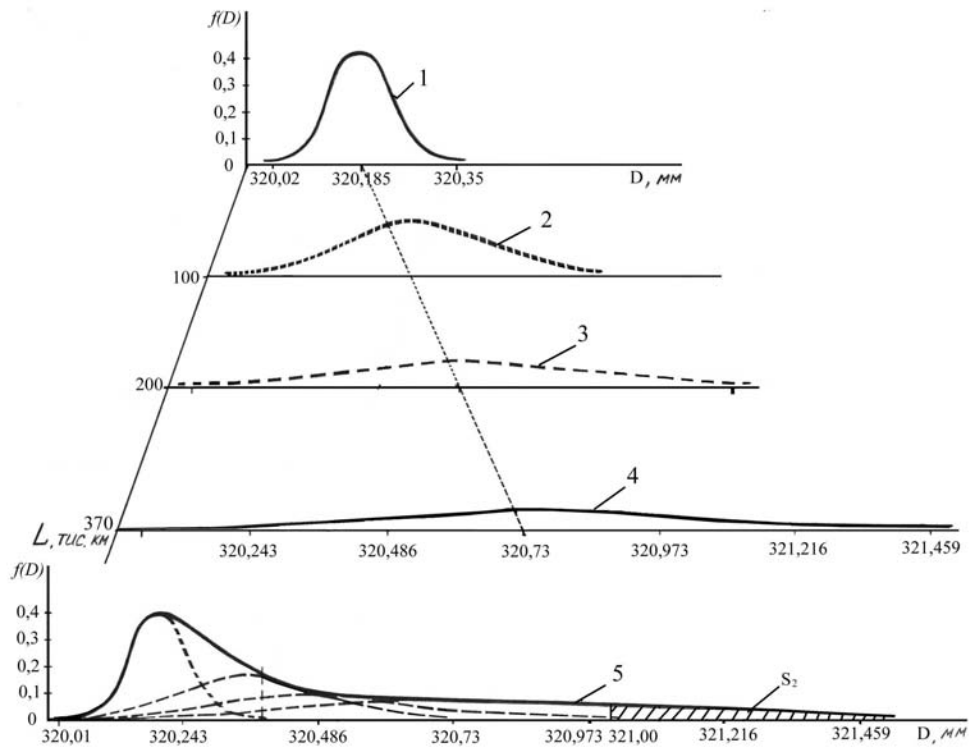


Рис. 3. Миттеві (криві 1–4) при пробігах відповідно 0; 100; 200 і 370 тис. км та сумарний (крива 5) закони розподілення внутрішнього діаметра наплавлених корпусів букс електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82

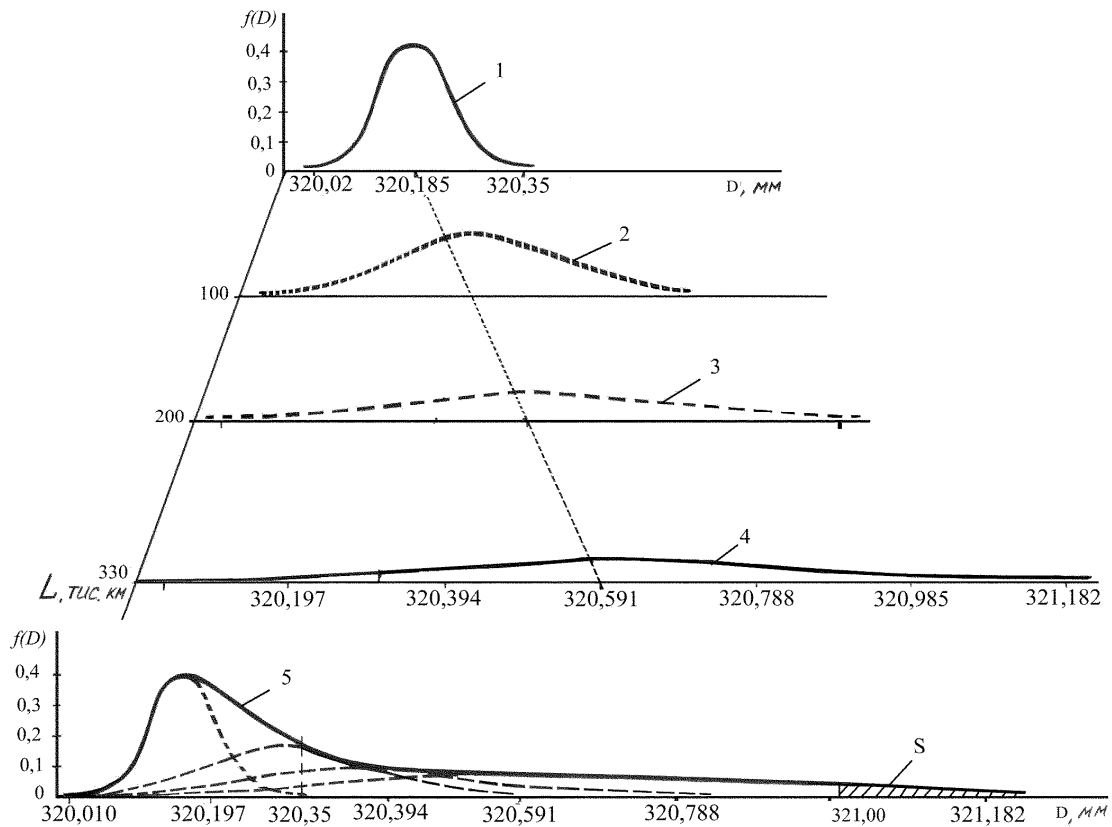


Рис. 4. Миттеві (криві 1–4) при пробігах відповідно 0; 100; 200 і 330 тис. км та сумарний (крива 5) закони розподілення внутрішнього діаметра залізних корпусів букс електровозів ВЛ8

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Волков Е. Б., Судаков Р. С., Сырицын Т. А. Основы теории надежности ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1974. – 400 с.
2. Проников А. С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
3. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. – К.: Держстандарт України, 1994. – 30 с.
4. Костин Н. А., Артемчук В. В., Шейкина О. Г. Параметрическая надежность корпусов букс электровозов, восстановленных различными способами // Транспорт: Зб. наук. пр. / ДІТ. – Д.: Наука і освіта, 2002. – Вип. 10. – С. 75–80.
5. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. Видання офіційне. – К.: Держстандарт України, 1995. – 30 с.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
7. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. – М.: Физматгиз, 1988. – 406 с.

Надійшла до редколегії 23.09.03.

КОЛИВАННЯ ПРОГІННИХ БУДОВ ТИПУ 690/7К ПІД ЧАС РУХУ ПО НИМ ПОЇЗДІВ ІЗ ПОРОЖНІХ ПІВВАГОНІВ

У роботі розглядається поведінка прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м, виготовлених за типовими проектами 690/7 або 690/7К під час руху по ним поїздів із порожніх піввагонів.

В работе рассматривается поведение пролетных строений с расчетным пролетом 110 м, изготовленных по типовым проектам 690/7 или 690/7К, при движении по ним поездов из порожних полувагонов.

The article considers the behaviour of sectional structures, with 110m rated flight length, manufactured under standard projects 690/7K or 690/7K, at movement of trains made up of empty gondola cars on these structures.

Галузева науково-дослідна лабораторія штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені В. Лазаряна проводила теоретичні і експериментальні дослідження динамічних характеристик металевих прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м, які були виготовлені за типовим проектом інв. № 690/7 під час руху по ним поїздів із порожніх піввагонів. Необхідність у виконанні таких досліджень пов'язана з тим, що службою експлуатації були помічені просторові коливання цих прогінних будов з досить великими амплітудами під час руху по ним поїздів із 100 і більше порожніх піввагонів зі швидкістю, яка перевищувала 60 км/год. Під час руху по мосту графікових вантажних і пасажирських поїздів великі амплітуди просторових коливань не спостерігалися.

Досить великі амплітуди горизонтальних поперечних коливань прогінних будов не впливають на міцність і стійкість споруди, однак приводять до розлаштувань в експлуатаційних пристроях і викликають побоювання у відношенні забезпечення стійкості коліс порожніх піввагонів проти сходу під час їх руху по мосту.

Для експериментальних досліджень був вибраний міст у Казахстані, який мав дві руслові прогінні будови з розрахунковими прогонами по 110 м і дві берегові прогінні будови з суцільними стінками довжиною по 27 м. Руслові прогінні будови з наскрізними фермами з паралельними поясами були виготовлені під навантаження С14 за проектом 690/7к і мали десять панелей довжиною по 11 м при теоретичній висоті головних ферм 15,0 м. Для проведення експериментальних досліджень був сформований спеціальний випробувальний поїзд із 100 порожніх піввагонів.

Метою випробувань було визначення динамічної завантаженості елементів системи «міст–поїзд», а також амплітуд і частот просторових коливань прогінних будов мосту.

Під час проведення випробувань вимірювалися напруження, переміщення і прискорення одночасно на прогінних будовах мосту і на чотиривісних вагонах при різних схемах формування поїзда і різних швидкостях його руху. Крім випробувального поїзда, поведінка прогінних будов реєструвалася і під час руху по мосту графікових вантажних і пасажирських поїздів.

Програмою робіт передбачалося, що поїзда повинні рухатися тільки в одному напрямку по правильній колії і рух по неправильній колії не здійснюється. Згідно з програмою випробувань на прогінних будовах мосту реєструвалися такі величини:

- амплітуди вільних і вимушених поперечних горизонтальних коливань прогінних будов 1–2 і 2–3 у вузлах В5 і Н5;
- амплітуди вільних і вимушених коливань у рівні верхніх поясів у вузлах В9 прогінної будови 1–2 і В1 на прогінній будові 2–3;
- динамічні поперечні горизонтальні переміщення нижніх поясів прогінної будови 1–2 у вузлах Н3, Н5 і Н7 під час вільних і вимушених коливань;
- динамічні переміщення рухомих опорних частин прогінної будови 1–2 на опорі № 2;
- динамічні напруження в елементах опорної діафрагми у вузлі Н10 правої ферми прогінної будови 1–2;
- динамічні прогини обох ферм прогінної будови 1–2 у вузлах Н3, Н5 і Н7.

Схема розміщення приладів на прогінній будові 1–2 наведена на рис. 1.

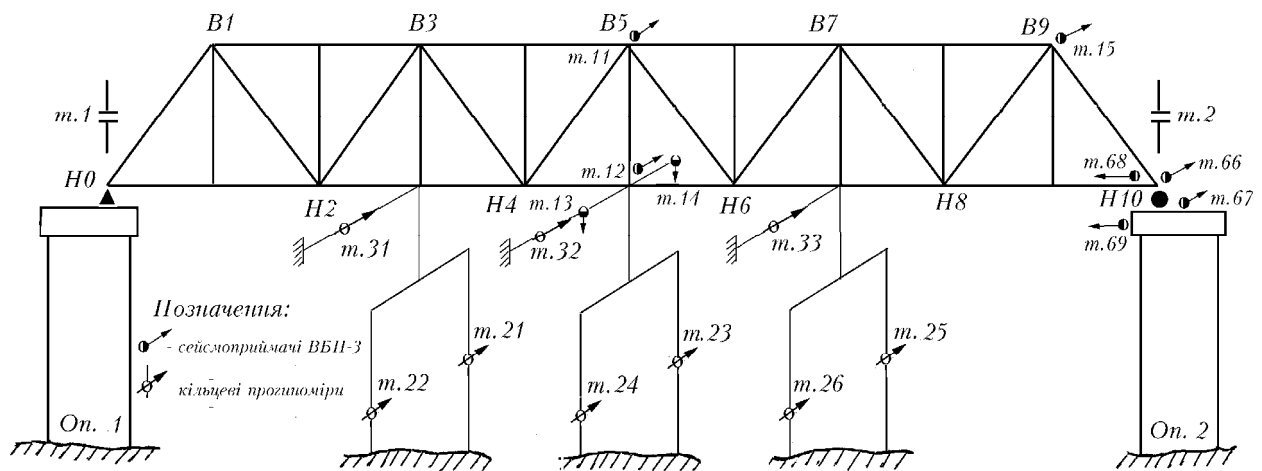


Рис. 1. Схема розміщення сейсмоприймачів та прогиномірів

Динамічні прогини вузлів головних ферм прогінних будов вимірялися за допомогою кільцевих електричних прогиномірів системи ДПТу [1].

Для визначення амплітуд і частот просторових коливань прогінних будов використовувалися сейсмоприймачі ВБП-3М. Вимірювання прискорень різних елементів прогінних будов здійснювалося за допомогою вібровиміральної апаратури з датчиками прискорень ДУ-5С-50.

Амплітуди коливань проміжної опори № 2 реєструвалися за допомогою сейсмоприймачів С-5С.

Динамічні напруження в елементах прогінної будови визначалися шляхом вимірювань фібрових деформацій за допомогою тензорезисторів марки 2ПКБ-20х200.

Для визначення моментів проходу рухомого навантаження через прогінну споруду використовувалися магнітні педалі ПМ-56, які встановлювалися біля голівки рейки в опорних перерізах прогінної будови 1–2 і над поперечною балкою П10 прогінної будови 2–3. У цих же місцях встановлювалися і спеціальні датчики для можливості синхронізувати записи коливань прогінних будов і піввагонів випробувального поїзда під час його проходу по мосту.

Під час проведення комплексних випробувань прогінних будов і піввагонів під час їх руху по мосту було проведено 473 досліди, із яких 33 – з випробувальним поїздом за різними схемами його формування.

Швидкість руху випробувального поїзда змінювалася від 43,9 до 91,1 км/год, а графікових поїздів – від 25,6 до 73,2 км/год.

Вільні коливання

Розміщення приладів на обох прогінних будовах передбачало встановлення ідентичності їх динамічних характеристик.

Для визначення частот прогінних будов виконувалася обробка ділянок реалізацій коливань прогінних будов після сходу поїзда з моста. Оскільки цей процес, як правило, багаточастотний [2; 3], то для визначення частотного складу просторових коливань використовувалися кореляційний і спектральний аналізи, тобто обробка отриманих реалізацій динамічних процесів виконувалася із точки зору теорії випадкових процесів [4].

Обчислення спектральної щільності випадкових процесів виконувалося за методом Кулі-Тьюкі [3]. Для прискорення обчислення використовувалося швидке перетворення Фур'є (БПФ) [3; 5]. Попередньо виконувалася дискретизація реалізацій процесу. Для обчислення частот вільних коливань крок квантування дорівнював 0,018 с, а довжина реалізації становила 40 с.

Із аналізу наведених графіків видно, що частота 0,91 Гц є низшою частотою коливань прогінної будови. У цьому випадку верхня і нижня вітрові ферми прогінної будови переміщуються в один і той же бік на значну величину. Вертикальні переміщення головних ферм у цьому випадку відсутні, а контури поперечних перерізів прогінних будов не деформуються.

Із частотою 1,98 Гц відбуваються коливання «бокової качки» У разі коливань за цією формою верхня і нижня вітрові ферми прогінних будов переміщуються на значну величину в протилежні боки. Головні ферми прогінних будов у вертикальній площині також переміщуються в різних напрямках. У цьому випадку по-

перечні перерізи прогінної будови повертаються навкруги центру коливань, не деформуючись.

Амплітуди вимушених коливань

Відповідно до програми випробувань амплітуди вертикальних і горизонтальних коливань прогінних будов реєструвалися у одних і тих же вузлах.

Обробка отриманих реалізацій динамічних процесів використовувалася методами математичної статистики [6–8]. Експериментальні дані групувалися в розряди за інтервалами швидкості руху поїзда.

Для кожного розряду знаходилися характеристики розподілення амплітуд коливань прогінної будови і визначалися параметри розподілення відповідно до [9; 10].

Графіки верхніх довірчих границь амплітуд горизонтальних і вертикальних коливань прогінної будови 1–2 наведені на рис. 2 і рис. 3.

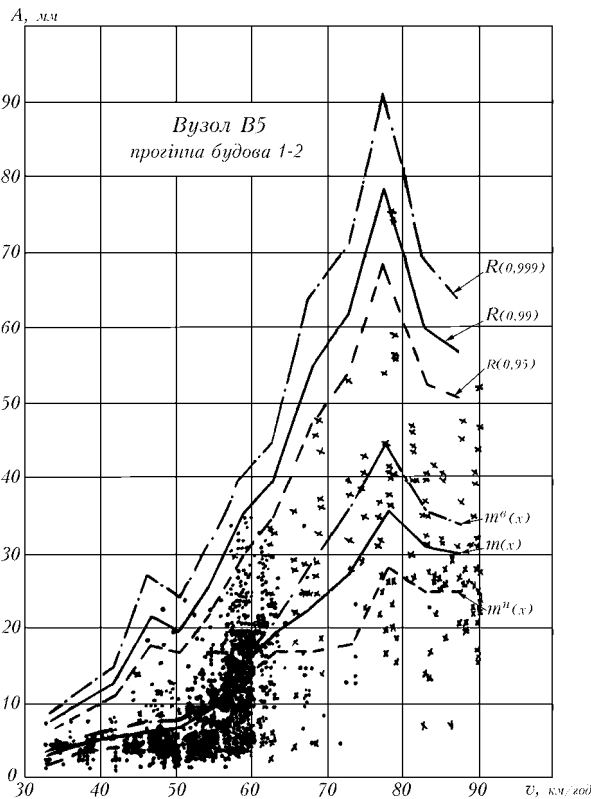


Рис. 2. Графіки довірчих границь амплітуд горизонтальних коливань

На графіку рис. 2 видно, що амплітуди горизонтальних коливань прогінної будови збільшуються із збільшенням швидкості руху поїздів із порожніх піввагонів до 78 км/год, а потім відбувається їх зменшення. Графіки верхніх довірчих границь горизонтальних коливань прогінної будови 2–3 подібні до графіків, що

наведені на рис. 2, але у цьому разі резонансна швидкість під час горизонтальних коливань системи «міст–поїзд» зменшується і становить 72 км/год.

Деяка різниця у величині резонансних швидкостей для прогінних будов 1–2 і 2–3 під час горизонтальних коливань системи, які викликані поїздами із порожніх піввагонів, пояснюється різною поведінкою екіпажів на першій і другій прогінних будовах. У разі збільшення кількості прогінних будов подальше зменшення резонансної швидкості для системи «міст–поїзд» відбуватися не буде.

Графіки верхніх довірчих границь у разі вертикальних коливань прогінної будови 1–2 під час проходження по мосту поїздів із порожніх піввагонів наведені на рис. 3. Для прогінної будови 2–3 графіки мають аналогічний вигляд.

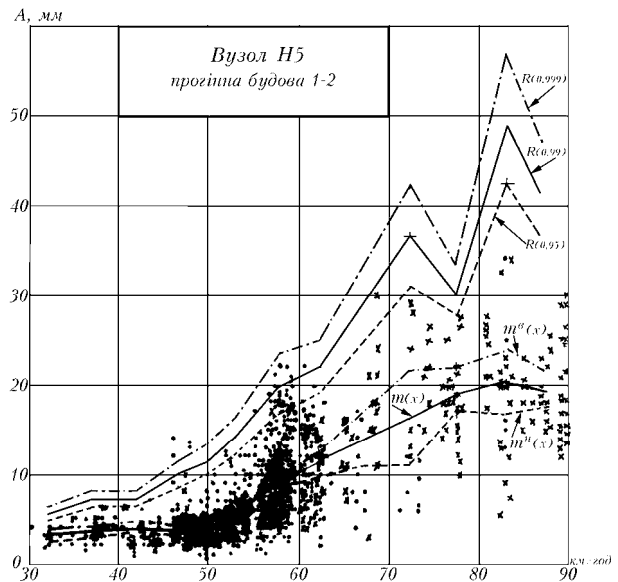


Рис. 3. Графіки довірчих границь амплітуд вертикальних коливань

На рис. 2 і рис. 3 введені такі позначення: $m(x)$ – математичне сподівання вибірки амплітуд коливань прогінної будови;

$m^e(x)$ – верхня межа математичного сподівання вибірки амплітуд коливань прогінної будови;

$m^h(x)$ – нижня межа математичного сподівання вибірки амплітуд коливань прогінної будови;

$R(0,999)$ – верхня довірна границя генеральної сукупності амплітуд коливань з вірогідністю $p = 0,999$;

$R(0,999)$ – верхня довірча границя генеральної сукупності амплітуд коливань з вірогідністю $p = 0,99$;

$R(0,999)$ – верхня довірча границя генеральної сукупності амплітуд коливань з вірогідністю $p = 0,95$;

У разі зростання швидкостей руху поїздів із порожніх піввагонів амплітуди вертикальних коливань обох прогінних будов зростають до 82 км/год, яка в даному випадку і є резонансною швидкістю.

У разі аналізу графіків слід мати на увазі ту обставину, що на графіках нанесені величини розмахів коливань вузлів прогінних будов у масштабах осцилограми.

Динамічні прогини

Динамічні прогини прогінних будов вимірялися за допомогою кільцевих прогиномірів ДПТa [1]. Встановлення прогиномірів у різних вузлах прогінних будов дозволило виявити особливості динамічної роботи прогінних будов, виявити форми вільних і вимушених коливань.

Шляхом обробки динамічних прогинів [6; 10] можуть бути визначені динамічні коефіцієнти для головних ферм прогінних будов і після обробки цих величин методами математичної статистики – верхні довірчі границі для них з необхідною вірогідністю, а також виявлені резонансні режими у разі руху по мосту поїздів будь-якого типу. На рис. 4 наведені графіки верхніх довірчих границь динамічних коефіцієнтів, які визначені по прогинах головних ферм, з різною вірогідністю для поїздів із порожніх піввагонів.

На рис. 4 введені такі позначення:

$m(x)$ – математичне сподівання вибірки динамічних коефіцієнтів прогінної будови;

$m^e(x)$ – верхня межа математичного сподівання вибірки динамічних коефіцієнтів прогінної будови;

$m^u(x)$ – нижня межа математичного сподівання вибірки динамічних коефіцієнтів прогінної будови;

$R(0,999)$ – верхня довірча границя генеральної сукупності динамічних коефіцієнтів з вірогідністю $p = 0,999$;

$R(0,999)$ – верхня довірча границя генеральної сукупності динамічних коефіцієнтів з вірогідністю $p = 0,99$;

$R(0,999)$ – верхня довірча границя генеральної сукупності динамічних коефіцієнтів з вірогідністю $p = 0,95$.

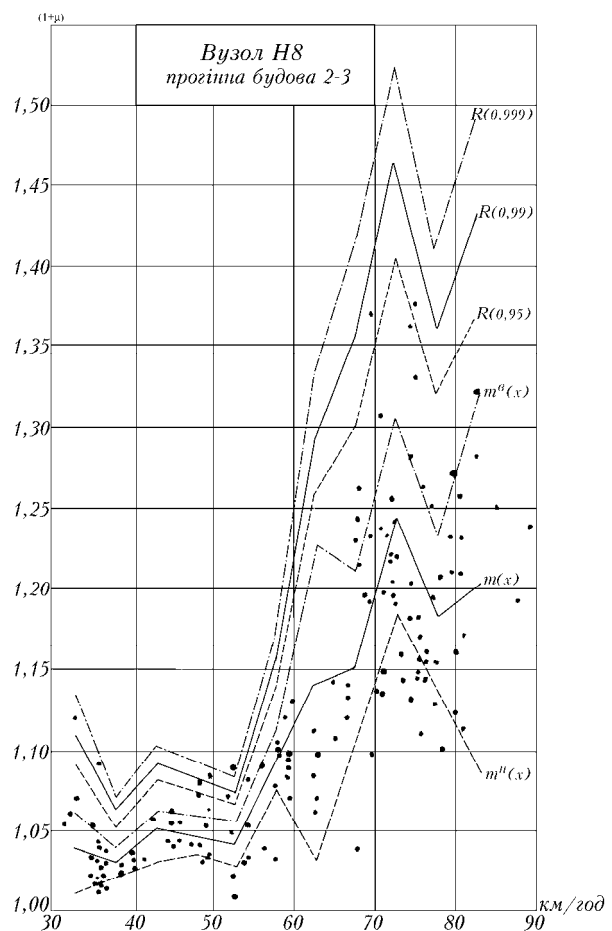


Рис. 4. Графіки довірчих границь динамічних коефіцієнтів

Максимальний динамічний коефіцієнт для головних ферм прогінної будови 2–3 спостерігається під час руху поїздів із порожніх піввагонів зі швидкістю 72 км/год.

Встановлено, що під час руху по мосту поїздів із порожніх піввагонів у системі «міст-поїзд» завжди спостерігаються коливання «бічної качки». Ці коливання характеризуються тим, що в цьому разі ліва і права головні ферми прогінної будови переміщуються у різні боки, а контур поперечного перерізу повертається навкруги центру коливань не деформуючись.

Центр коливань прогінної будови з мостовим полотном на дерев'яних поперечинах під час проходження по мосту поїзда із порожніх піввагонів знаходиться на висоті 4,33 м від осі нижнього поясу прогінної будови, а з мостовим полотном на залізобетонних безбаластних плитах БМП – на висоті 4,06 м над віссю нижнього поясу головної ферми.

Аналіз реалізацій коливань показує, що від моменту входу випробувального поїзда на міст і до його повного сходу основною формою коливань системи «міст–поїзд» є коливання «бічної качки» з частотою 1,91 Гц. Після сходу поїзда з моста прогінні будівлі коливаються зі своєю частотою «бічної качки», яка дорівнює 1,99 Гц.

Аналогічні реалізації отримані і під час проходу по мосту всіх графікових поїздів із порожніх піввагонів. Різниця між ними складається лише у амплітудах коливань.

Частотний склад вимушених коливань

Під час проходу поїздів по мосту його прогінні будівлі коливаються разом з екіпажами, які знаходяться на них, з різними частотами.

Частина цих частот не залежить від швидкості руху поїздів, деякі з них залежать від швидкості руху поїздів, інші частоти коливань залежать від маси рухомого навантаження, що знаходиться на прогінній будові.

Частотний склад вимушених коливань визначався шляхом спектрального аналізу отриманих реалізацій коливань вузлів головних ферм в горизонтальній і вертикальній площинах. [2; 4; 5]. Попередньо виконувалася дискретизація реалізацій коливань із кроком квантування 0,018 с. Спектральний аналіз реалізацій динамічних процесів проводився по 4096 значенням амплітуд.

Спектральні щільності амплітуд вертикальних і горизонтальних коливань прогінної будови 2–3 під час руху по мосту поїздів із порожніх піввагонів наведені на рис. 5 і рис. 6.

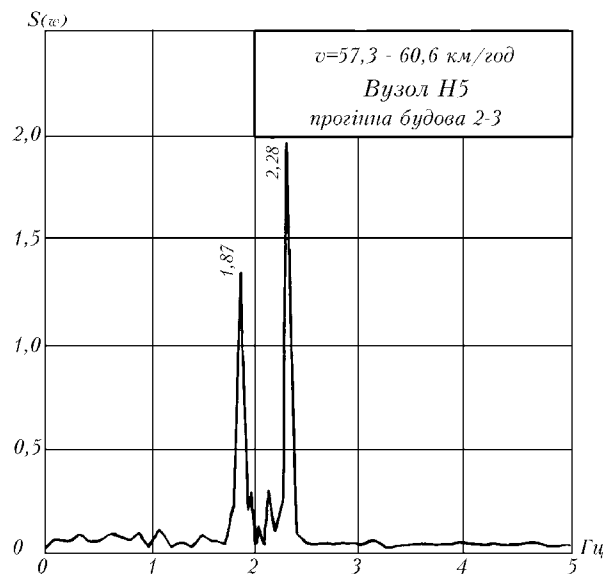


Рис. 5. Графіки спектральної щільності вертикальних коливань

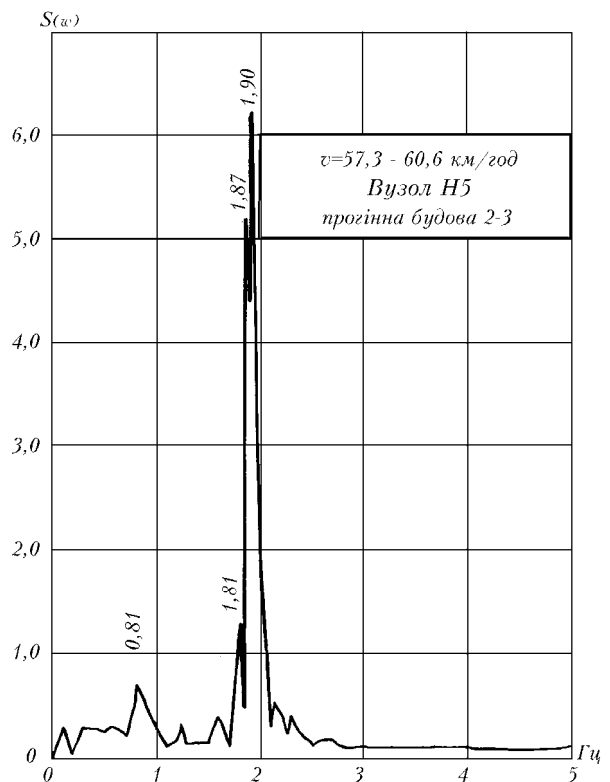


Рис. 6. Графіки спектральної щільності горизонтальних коливань

Для порівняння на рис. 7 наведений графік спектральні щільності амплітуд вертикальних коливань вузла Н5 прогінної будови 1–2 під час руху по мосту того ж самого поїзда із порожніх піввагонів.

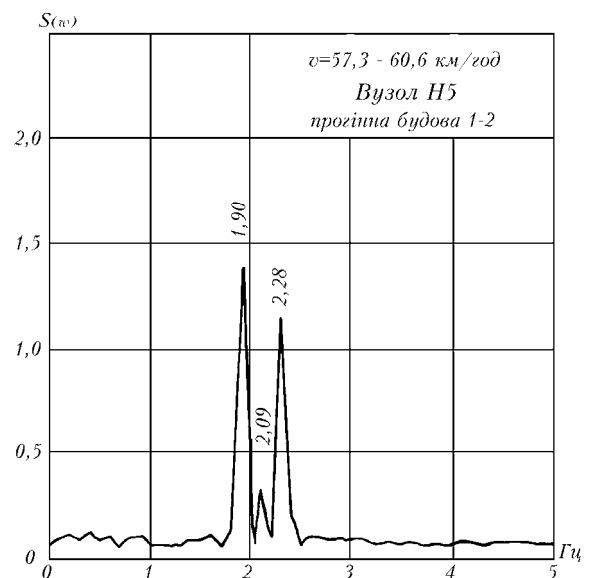


Рис. 7. Графіки спектральної щільності горизонтальних коливань

На цих графіках збільшення долі гармонійної складової спостерігається на ряді частот.

Частота 0,81 Гц відповідає частоті синфазних горизонтальних коливань верхньої і нижньої вітрових ферм, завантаженої піввагонами, прогінної будови.

Із частотою 1,88–1,91 Гц відбуваються коливання «бічного качання» прогінної будови, яка завантажена порожніми піввагонами.

Звертає на себе увагу і той факт, що за даними галузевої науково-дослідної лабораторії штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту з частотою 1,85 Гц відбуваються зміни горизонтальних зусиль в надресорній балці порожнього піввагона, що рухається по мосту, тобто з частотою 1,85 Гц відбуваються коливання вилання візка піввагона відносно його кузова. У зв'язку з цим, під час проходження по мосту порожніх піввагонів навіть з невеликою швидкістю завжди будуть виникати коливання «бічної качки» системи «міст–поїзд». Коливання системи з частотами 1,88–1,91 Гц мають невелику енергію і відбуваються коливання системи з частотами 2,05–2,09 Гц. Ці частоти відповідають синфазним вертикальним коливанням системи «міст–поїзд», однак з частотою 2,06 Гц спостерігаються динамічні добавки вертикальних сил на шийці колісної пари піввагона, тобто спостерігаються коливання «бічної качки» екіпажа.

Значну енергію мають коливання і з частотами 2,28–2,30 Гц. Ці частоти відносяться до групи частот вертикальних коливань системи «міст–поїзд» і є частотами антифазних вертикальних коливань завантаженої прогінної будови. У цьому випадку головні ферми прогінної будови переміщуються в протифазі. Коливання супроводжуються не тільки вертикальними, але і горизонтальними переміщеннями. Контур поперечного перерізу прогінної будівлі в цьому випадку трохи деформується.

Крім цих коливань спостерігаються також і коливання з іншими частотами, які відповідають більш високим частотам коливань вагонів. Особливо часто, крім перелічених вище, на графіках спектральних щільностей проявляється частота 2,36 Гц.

На рис. 8 і рис. 9 наведено графіки спектральних щільностей горизонтальних і вертикальних коливань вузла Н5 прогінної будови 1–2 у разі рівномірного і прискореного рухів порожніх піввагонів по мосту.

У першому випадку рух поїздів відбувався зі швидкістю 65,2–65,4 км/год.

У другому випадку швидкість поїзда при вході на міст дорівнювала 66,4 км/год, а на виході з нього – 69,1 км/год.

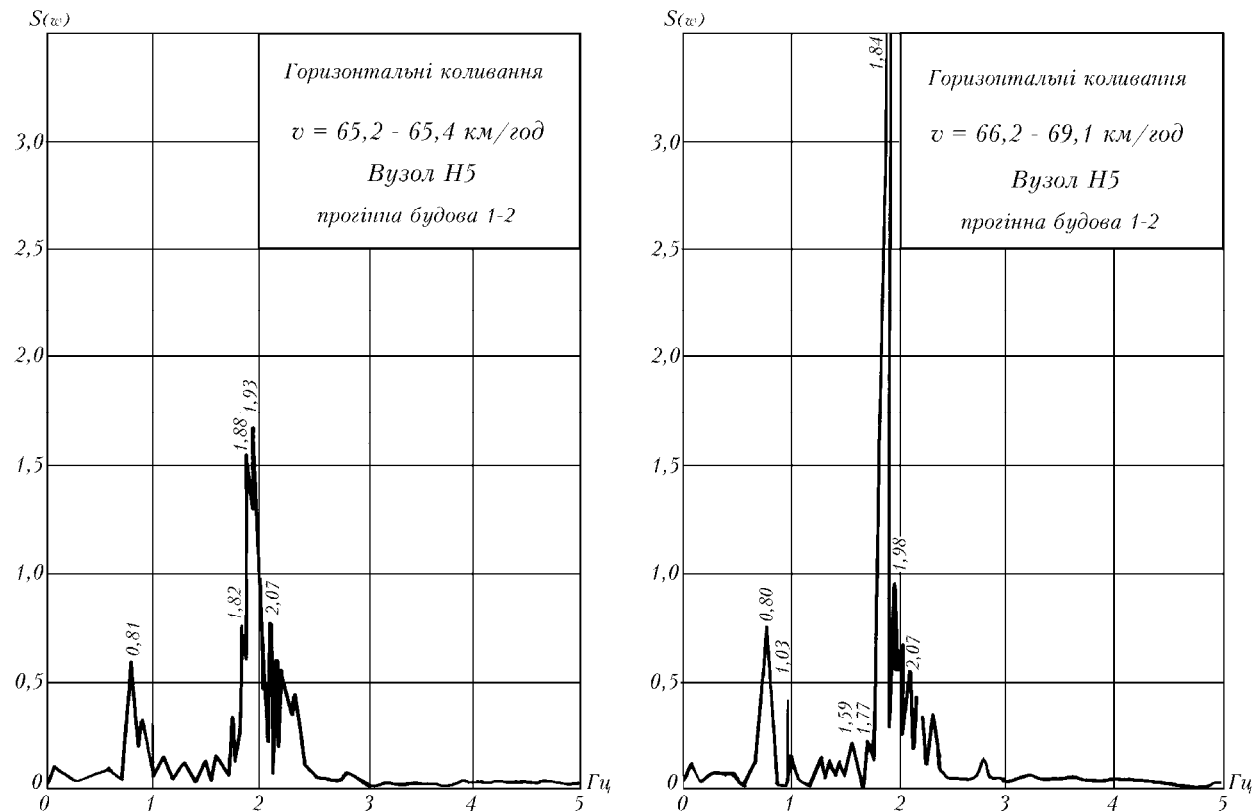


Рис. 8. Графіки спектральних щільностей горизонтальних коливань

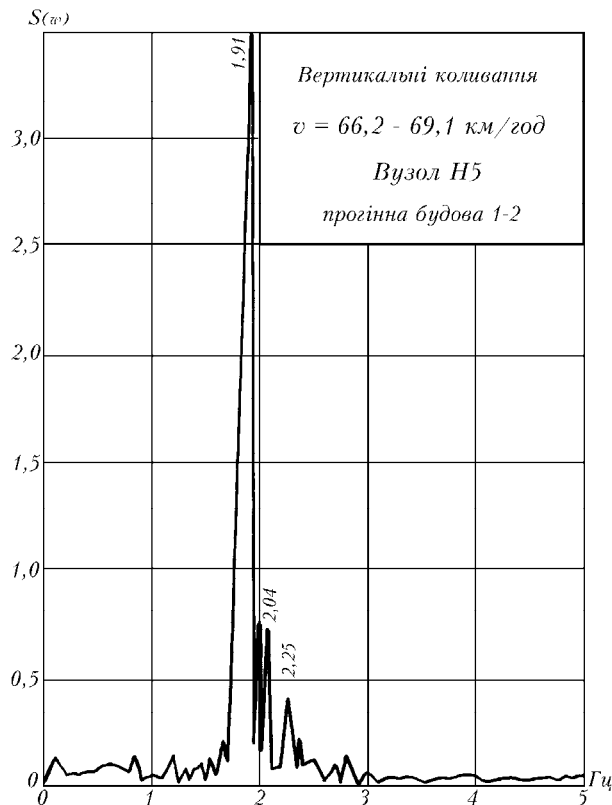
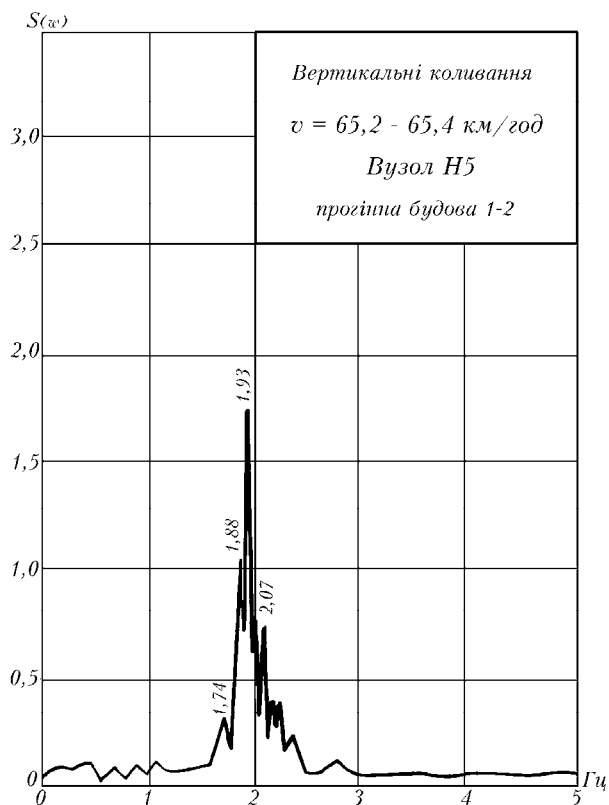


Рис. 9. Графіки спектральних щільностей вертикальних коливань

Аналіз амплітуд коливань прогінних будов під час руху по ним випробувальних поїздів із порожніх піввагонів показав, що вони залежать тільки від швидкості руху поїзда і не залежать від схеми його формування.

Напруження в опорній діафрагмі

Діафрагма між двома фасонками в опорному вузлі прогінної будови встановлюється конструктивно і не розраховується.

У дійсності в опорній діафрагмі виникають напруження, які викликані роботою балкової клітки під навантаженням від рухомого складу, а також коливань прогінної будови.

Під час проведення випробувань встановлено, що у разі проходу по мосту поїздів в перерізах опорної діафрагми виникають значні напруження. Високі напруження виникають під час проходу вантажних поїздів, однак у цьому випадку коефіцієнт зниження граничних напружень в розрахунках на витривалість дорівнює одиниці.

Найбільше напруження у кутику опорної діафрагми 66,91 МПа зафіксовані під час проходу по мосту випробувального поїзда із швидкістю 82,5 км/год. Під час проходу випробувального поїзда із швидкістю більше 60,0 км/год напруження змінюються з частотою 1,91 Гц. Коефіці-

єнт зниження граничних напружень в розрахунках на витривалість знаходиться в межах 0,61–0,74.

Коливання руслової опори мосту

У процесі випробувань піввагонів під час їх руху по мосту була звернена увага на той факт, що досить часто виникають поздовжні і поперечні коливання руслової опори.

З метою визначення частот і амплітуд поздовжніх і поперечних коливань руслової опори на її підферменій площадці були встановлені сейсморейсери С-5С.

Обробка отриманих реалізацій коливань опори показала, що поздовжні коливання відбуваються з амплітудою 0,19 мм, а поперечні – 0,35 мм. Як правило, частоти поздовжніх коливань опори 1,91 Гц, 2,05–2,09 Гц або 2,36 Гц.

Поперечні коливання руслової опори спостерігаються з частотою 2,25 Гц або 2,36 Гц.

Висновки і рекомендації

Внаслідок проведених комплексних випробувань поїздів із порожніх піввагонів при їх русі по мостам з прогінними будовами довжиною 110 м, виготовленими за типовим проектом 690/7, можна зробити ряд висновків.

1. Амплітуди просторових горизонтальних коливань залежать від швидкості руху поїзда і при русі поїзда по мосту із порожніх піввагонів досягають своєї максимальної величини при швидкості 78 км/год для прогінної будови 1–2 і 72 км/год для прогінної будови 2–3. При кількості прогінних будов більше двох подальшого зменшення резонансної швидкості відбуватися не буде.

2. Зростання амплітуд вертикальних коливань прогінних будов відбувається до швидкості 82 км/год при проході по мосту поїздів із порожніх піввагонів. У випадку руху по мосту графікових поїздів із завантажених вагонів зростання амплітуд вертикальних коливань відмічається при швидкості руху поїздів 42 км/год і 68 км/год. Для прогінної будови 2–3 під час проходу по мосту завантажених поїздів резонансна швидкість на 6 км/год менша, ніж для прогінної будови 1–2, тобто вона дорівнює 62 км/год.

3. Прогінні будови мосту 1–2 і 2–3 мають однакові частоти вільних просторових коливань і характеристики затухання.

4. Амплітуди вимушених просторових коливань залежать від швидкості руху поїзда і типу вагонів, з яких він сформований. Для поїздів, що сформовані із порожніх піввагонів, амплітуди просторових коливань системи «міст–поїзд» не залежать від довжини поїзда, тому що максимальні амплітуди коливань спостерігаються під час проходу через середини прогінних будов, як правило, 38-го, 65-го і 79-го вагонів поїзда.

У деяких випадках можливі великі амплітуди коливань під час проходу через середину прогінної будови двадцятого – двадцять третього вагонів.

5. Під час проведення комплексних випробувань залежність амплітуд просторових коливань від схеми формування випробувального поїзда не встановлено.

6. Коливання системи «міст–поїзд» нічим не відрізняються одні від одних як під час руху по мосту з однаковою швидкістю випробувального поїзда або графікових поїздів, сформованих із порожніх піввагонів.

7. При русі випробувального поїзда просторові коливання прогінних будов змінюються так як і при русі по мосту графікових поїздів, які також сформовані із порожніх піввагонів.

Максимальні амплітуди горизонтальних коливань прогінної будови 1–2 спостерігаються під час проходу по мосту випробувального поїзда із швидкістю 78 км/год, а прогінної будови

2–3 – при русі випробувального поїзда із швидкістю 72 км/год.

Амплітуди вертикальних коливань обох прогінних будов зростають до швидкості руху випробувального поїзда 82 км/год.

8. При завантаженні прогінних будов поїздом у зв'язку із збільшенням загальної маси системи «міст–поїзд» частота коливань зменшується.

У випадку завантаження прогінних будов порожніми піввагонами частота системи змінюється незначно. Суттєво змінюється частота системи під час проходу по прогінним будовам завантажених піввагонів або нафтоналивних поїздів.

Частота бокової качки завантаженої прогінної будови при русі по мосту порожніх піввагонів встановлюється рівною 1,88–1,91 Гц, однак із близькою частотою (1,85 Гц) відбуваються коливання виляння візків піввагона відносно його кузова.

Вертикальні коливання системи «міст–поїзд» під час проходу по мосту порожніх піввагонів відбуваються з частотою 2,05–2,09 Гц, але з частотою 2,06 Гц змінюються і динамічні добавки вертикальних сил на шийки колісних пар піввагонів (бічне качання піввагонів), що також приводить до розгойдування системи.

Основною причиною виникнення просторових коливань прогінних будов під час проходу по мосту поїздів, які сформовані із порожніх піввагонів, є виляння візків піввагонів відносно кузова і бічна качка піввагона внаслідок збігу цих частот з частотами прогінної будови, завантаженої піввагонами.

При русі по мосту завантажених поїздів різниця між частотами системи і частотами збудження досить значна. Так, наприклад, під час руху по мосту завантажених піввагонів частота бічної качки системи «міст–поїзд» знижується до 1,45 Гц.

9. Частотний склад просторових коливань у деякій мірі залежить від швидкості руху поїзда (частота входу вагонів на прогін, частоти, що залежать від горизонтальних та вертикальних нерівностей колії), але не залежать від схеми формування випробувального поїзда.

10. Частотний склад просторових коливань системи під час проходу по мосту графікових поїздів із порожніх піввагонів нічим не відрізняються від частотного складу коливань системи «міст–поїзд» при русі по мосту випробувального поїзда із такою ж швидкістю.

11. Під час проходу по мосту однорідних поїздів із вагонів іншого типу частотний склад

коливань системи декілька відрізняється від частотного складу коливань системи під дією порожніх піввагонів і енергія коливань значно нижча.

12. У діафрагмах опорних вузлів прогінної будови під час проходу поїздів виникають значні напруження. Найбільші напруження в процесі випробувань зареєстровані під час проходу по мосту поїздів із порожніх піввагонів із швидкостями, що близькі до резонансних. Зміна цих напружень відбувається з частотою бічної качки системи «міст–поїзд». З точки зору утомлюваної міцності порожні піввагони, які рухаються по мосту із швидкістю понад 60 км/год, є навантаженням.

13. У горизонтальній площині прогінна будова під час руху поїзда коливається за складною формою.

Під час випробувань зареєстровано, що при вході на міст поїзда із порожніх піввагонів з великою швидкістю, чверть прогінних будов переміщуються в один бік, а його середина – у протилежний.

У вертикальній площині одна із головних ферм переміщується вниз, а друга – вгору, тобто відбуваються коливання «бічної качки».

Залежність форм просторових коливань прогінної будови при русі по ньому випробувального поїзда від схеми формування поїзда не встановлено.

14. Математична модель, яка представляє екіпаж двомасовою системою, що зазнає гармонічного збудження з частотою бічної качки завантаженої прогінної будови, не може бути використана навіть для оціночних розрахунків стійкості руху піввагонів по мосту, тому що зовсім не відображає процеси, які відбуваються в системі «міст–поїзд».

При теоретичному дослідженні стійкості руху піввагонів по мосту необхідно використовувати багатомасову модель вагона і враховувати сили взаємодії колеса і рейок колії.

15. Прогінні будови, які виготовлені за типовими проектами 690/7 і 690/7К, мають низьку крутильну жорсткість і крім того, дві його частотні характеристики співпадають з частотами збудження, яке і приводить до підвищених амплітуд просторових коливань системи.

Для зменшення амплітуд коливань системи «міст–поїзд» необхідно змінити частотні характеристики завантаженої прогонової будови.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарь М. Г. и др. Динамика железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1965.
2. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Госстройиздат, 1965.
3. Бендат Д., Пирсом А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974.
4. Пугачев Е. С. Теория случайных функций. – М., Физмат, 1960.
5. Марпл.-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
6. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971.
7. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1970.
8. Румшисский Л. З. Элементы теории вероятностей. – М.: Наука, 1970.
9. Свешников А. В. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968.
10. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972.

Надійшла до редколегії 07.05.03.

А. В. ГРИШИН (Одесский национальный морской университет),
Б. В. САВЧИНСКИЙ (ДИИТ)

СОВМЕСТНЫЙ РАСЧЕТ УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ И ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ ОТ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

У статті наведені методика і програмний комплекс для спільного розрахунку підпірної стінки і ґрунтового масиву як єдиної зв'язаної динамічної системи. Новизна задачі полягає в тому, що при її дослідженні уперше використовується теорія пластичної течії зі зміцненням. Така постановка задачі дає можливість розробити, надалі, новий підхід до розрахунку споруджень від сейсмічної дії.

В статье приведены методика и программный комплекс для совместного расчета подпорной стенки и грунтового массива как единой связанной динамической системы. Новизна задачи состоит в том, что при ее исследовании впервые используется теория пластического течения с укреплением. Такая постановка задачи дает возможность разработать, в дальнейшем, новый подход к расчету сооружений от сейсмического воздействия.

The article offers the procedure and programmatic complex for joint calculation of a breast wall and soil massif as a unified conjunct dynamic system. The novelty of task consists in the fact that in its study the theory of plastic flow with consolidation has been used for the first time. Such statement of the problem enables to elaborate in the future a new approach to calculation of seismic-resistant facilities.

Статическому расчету подпорных стенок посвящено значительное количество исследований. Их обзор приведен, например, в [1; 2]. Количество работ по динамике этих сооружений, особенно с учетом упругопластических свойств их материалов, значительно меньше. Их анализ рассмотрен в [3; 4]. Обычно, динамические расчеты выполняются, если на сооружение действуют импульсные, вибрационные или подвижные нагрузки [5]. В данной работе исследуется динамическая задача, когда источником колебания угловой подпорной стенки являются некоторые области грунтового массива, которые в момент времени $t = 0$ получают начальные перемещения. Такая модель реализуется в расчетах на сейсмические воздействия [6], которые передаются на подпорную стенку не в виде внешних динамических нагрузок, а как реакция волнового процесса со стороны грунтовой среды. В свою очередь колебания стенки и отраженные от неё волны влияют на напряженно-деформированное состояние массива. Следовательно, при расчете таких сооружений необходимо подпорную стенку и грунтовую среду рассматривать как единую связанную динамическую систему, которая находится в условиях сложного нагружения. Известно, что даже при небольших нагрузках грунт переходит в упругопластическое состояние, поэтому в расчетах необходимо учитывать этот фактор.

Используется теория пластического течения с упрочнением, так как деформационные теории при сложном нагружении неприменимы [7]. В такой постановке рассматриваемая здесь задача исследуется впервые.

Расчетная схема динамической системы показана на рис. 1. Методика исследования упругопластических задач при динамическом нагружении изложена в [3; 4], поэтому приведем только основные формулы.

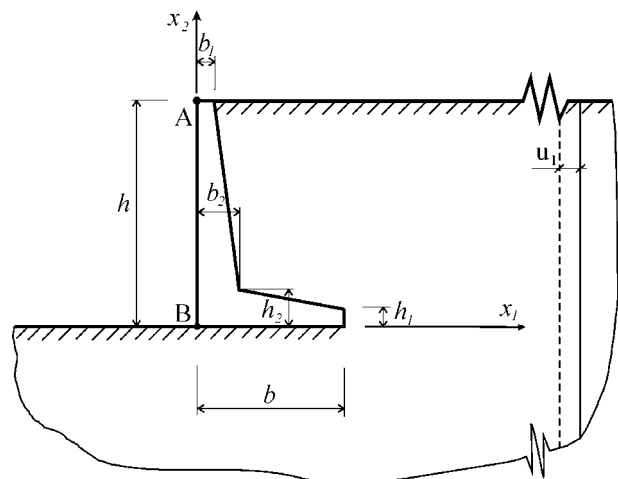


Рис. 1. Расчетная схема системы

Соотношение принципа виртуальной работы в момент времени t , из которого следуют уравнения равновесия, имеет следующий вид:

$$\int_{\Omega} [\delta \varepsilon]^T \sigma d\Omega + \int_{\Omega} [\delta u]^T (\rho \ddot{u} + c \dot{u} - Q) d\Omega - \int_{S_q} [\delta u]^T q ds = 0. \quad (1)$$

Полагаем, что деформации системы происходят при малых удлинениях, сдвигах и углах поворота. Поэтому соотношения Коши и постулат суммирования деформаций записываются так

$$d\varepsilon_{ks} = d\varepsilon_{ks} = \frac{1}{2} (du_{k,s} + du_{s,k}),$$

$$d\varepsilon_{ks} = d\varepsilon_{ks}^{(e)} + d\varepsilon_{ks}^{(p)}. \quad (2)$$

Приращения упругих деформаций связаны с приращениями напряжений законом Гука

$$d\varepsilon_{ks}^{(e)} = C_{ks}^{(e)} d\sigma_{mn}. \quad (3)$$

Приращения пластических деформаций определяются из принципа максимума Мизеса [7]

$$d\varepsilon_{ks}^{(p)} = d\lambda f_{\sigma_{ks}}, \quad d\lambda = \text{const} > 0. \quad (4)$$

В качестве функции нагружения f для грунтового массива используется условие Кулона-Мора

$$\left(\sigma_0 - \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \sin \psi \right) \sin \varphi + \sigma_i \cos \psi - c \cos \varphi = 0, \quad (6)$$

а для подпорной стенки – условие Гениева [8]

$$3(\sigma_c - \sigma_p) \sigma_0 + 3\sigma_i^2 - \sigma_p \sigma_c = 0, \quad (7)$$

где σ_0, σ_i, ψ – инварианты тензора напряжений; c, φ – сцепление и угол внутреннего трения грунта; σ_p, σ_c – пределы пластичности при растяжении и сжатии.

Из приведенных формул следуют уравнения состояния системы в виде $d\sigma_{ks} = D_{ksmn}^{(e)} d\varepsilon_{mn}$, при $f = 0$, $d'f \leq 0$ или $f < 0$;

$$d\sigma_{ks} = D_{ksmn}^{(ep)} d\varepsilon_{mn}, \quad \text{при } f = 0, \quad d'f > 0, \quad (8)$$

где $D_{ksmn}^{(e)}$ – упругие постоянные закона Гука; $D_{ksmn}^{(ep)}$ – приведены в [3; 4].

Для определения перемещений и напряжений в нелинейных динамических системах в основном можно использовать прямые шаговые методы [9]. Их модификации применительно к решению упругопластических задач изложены в [3]. Они включают в себя два основных этапа: дискретизацию исходных уравнений как по времени, так и по области, зани-

маемой системой; построение итерационного процесса для определения напряженно-деформированного состояния системы с заданной точностью. В результате дискретизации в момент времени t_n получено следующее матричное уравнение:

$$M \ddot{\delta}_n + C \dot{\delta}_n + K(\delta) \delta_n = Q_n, \quad (9)$$

где M – матрица распределенных масс системы; C – матрица демпфирования; $K(\delta)$ – матрица жесткости; Q_n – вектор узловых нагрузок; $\delta_n, \dot{\delta}_n, \ddot{\delta}_n$ – соответственно узловые перемещения, скорости и ускорения.

Для решения уравнения (9) используется неявный модифицированный метод Ньюмарка. Его основные отличия от классического варианта, применяемого для решения линейных задач, изложены в [3; 4].

Для численной реализации предложенной методики в системе Delphi был разработан программный комплекс, который позволяет производить совместный расчет всех элементов системы от действия как статических, так и динамических нагрузок. Его описание дано в [3].

Рассмотрим решение задачи при следующих исходных данных: $h = 10$ м; $h_1 = 1$ м; $b = 5$ м; $b_1 = 1,0$ м. Характеристики грунтовой среды: $E_0 = 30$ МПа; $\mu = 0,3$; $\varphi = 28^\circ$; $c = 0,05$ МПа.

Для бетона стенки принимается: $E = 26000$ МПа; $\sigma_p = 1,3$ МПа; $\sigma_c = 17$ МПа; $\mu = 0,2$. Длина временного шага $\Delta t = 0,01$ с. Временной отрезок, на котором рассматривается колебательный процесс, $T = 3$ с. Точность расчета 3 %. В момент времени $t = 0$ на расстоянии $x_1 = 100$ м произошло горизонтальное смещение грунтового массива равное $u_1 = -9$ см. Оно распространяется от поверхности массива на глубину 60 м.

На рис. 2 в увеличенном масштабе показана схема перемещения системы в момент времени $t = 0,27$ с. На рис. видны как горизонтальные, так и вертикальные смещения точек грунтового массива. С течением времени волна перемещений достигает стенки, а затем распространяется влево от неё. При дискретизации грунтового массива на боковых и нижних границах полупространства применялись бесконечные элементы [3; 4] для того, чтобы избежать отражения от них волн и тем самым не исказить полученные результаты. Динамику движения элементов дискретизируемой области системы можно наблюдать на экране дисплея.

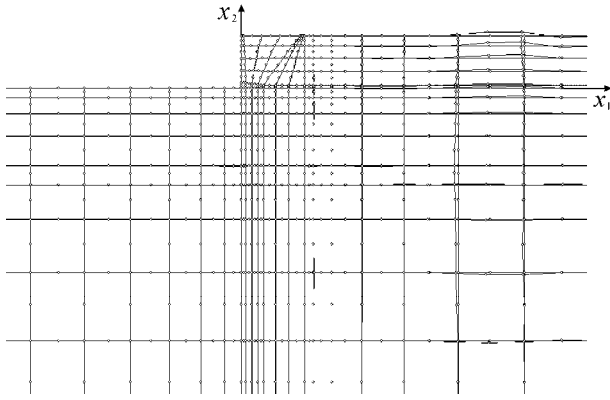


Рис. 2. Схема перемещений системы при $t = 0,27$ с

На рис. 3 показана схема пластической зоны, которая возникает в момент времени $t = 0,03$ с. Так же, как и в случае с перемещениями, с увеличением времени происходит движение этой зоны в сторону подпорной стенки и затем за её пределы. В процессе движения она уменьшается и разбивается на ряд более мелких областей, происходит как образование новых пластических зон, так и закрытие ранее возникших. На экране дисплея можно наблюдать за процессом движения и изменения зон в течение всего отрезка времени T .

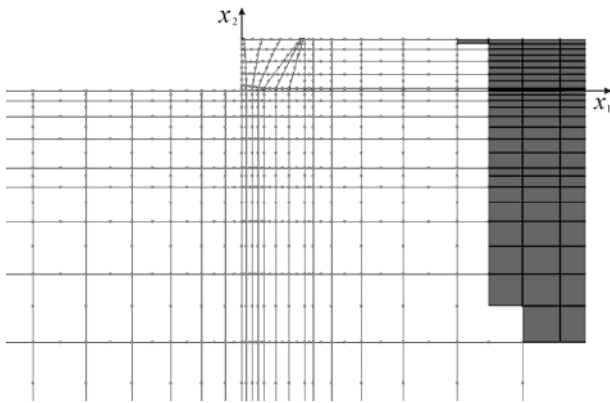


Рис. 3. Схема образования пластических зон в системе при $t = 0,03$ с

На рис. 4 и 5 приведены эпюры горизонтальных и вертикальных колебаний точки A (см. рис. 1). Из эпюр видно, что наибольшие амплитуды этих колебаний не совпадают во времени. Максимальные горизонтальные перемещения возникают при $t = 0,7$ с, а вертикальные – при $t = 1,5$ с. На расстоянии 100 м от места возбуждения горизонтальное перемещение уменьшилось почти в 10 раз и составило 0,9162 см. Интересно отметить, что начальное перемещение было только горизонтальным, но оно вызвало и

вертикальные колебания, которые не намного меньше горизонтальных в точке A (соответственно 0,9162 см и 0,8327 см). С течением времени происходит постепенное затухание колебаний u_1 и u_2 .

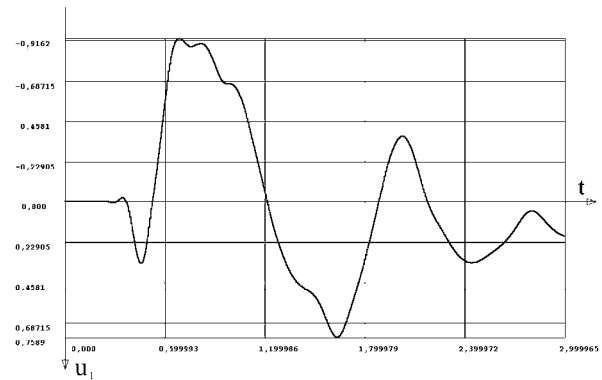


Рис. 4. Эпюра горизонтальных колебаний точки A (в см)

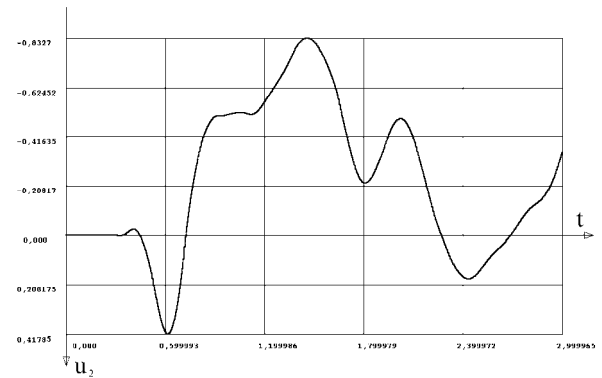


Рис. 5. Эпюра вертикальных колебаний точки A (в см)

На рис. 6 и 7 приведены эпюры колебаний напряжений σ_{22} и σ_{12} в точке B (см. рис. 1), только от начального перемещения грунтового массива. Напряжения, как и перемещения, начинают возникать только при $t > 0,3$ с. Но максимальная амплитуда σ_{22} образовалась в момент времени, когда произошло наибольшее вертикальное перемещение u_2 при $t = 1,5$ с. Совпадение максимальных амплитуд для касательного напряжения σ_{12} и горизонтального перемещения u_1 не наблюдается.

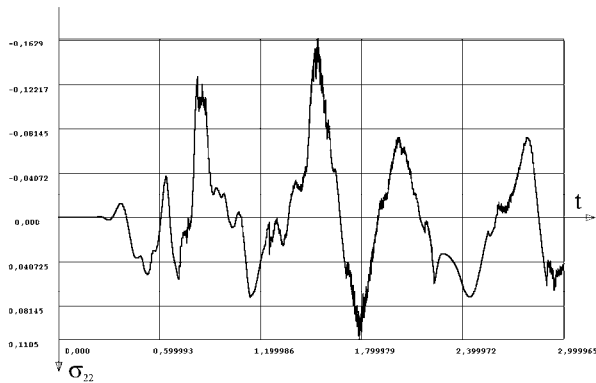


Рис. 6. Эпюра напряжений σ_{22} в точке B
(в 10 МПа)

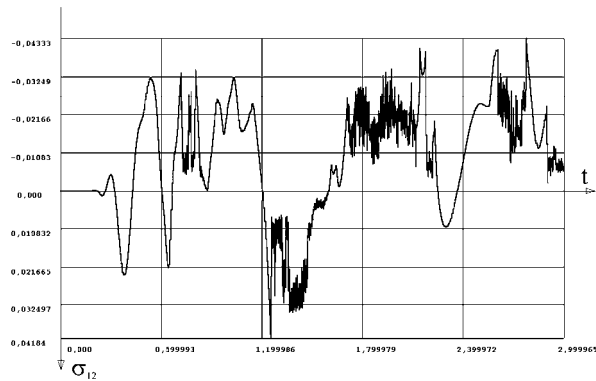


Рис. 7. Эпюра напряжений σ_{12} в точке B
(в 10 МПа)

В заключение следует отметить, что предложенная методика и программный комплекс позволяют производить расчет различных динамических систем как от действия разнообразных динамических нагрузок, так и от кинематического возбуждения. Это дает возможность разработать в дальнейшем новый подход к расчету сооружений от сейсмических воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клейн Г. К. Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.
2. Яковлев П. И., Бибичков А. Г., Бибичков Д. А. Взаимодействие сооружений с грунтом. – М.: Недра, 1997. – 464 с.
3. Гришин А. В., Федорова Е. Ю. Нелинейные динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений. – Одесса: ОГМУ, 2002. – 126 с.
4. Гришин А. В., Федорова Е. Ю. Нелинейная динамика ограждающих сооружений. – Одесса: ОНМУ, 2002. – 240 с.
5. Смирнов А. Ф. и др. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 415 с.
6. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.
7. Ивлев Д. Д., Быковцев Г. И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971. – 231 с.
8. Гениев Г. А., Киссюк В. Н., Тюпин Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
9. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.

Поступила в редколлегию 14.10.03.

М. Б. КУРГАН (ДІТ)

РОЗРОБКА МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРЕБУДОВИ ДІЛЯНКИ ЗАЛІЗНИЦІ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ

Запропонований метод оптимізації базується на використанні неадитивної функції скорочення часу руху поїздів на ділянках (об'єктах), що підлягають реконструкції. Ефект у процедурі оптимізації досягається завдяки введенню нових полуадитивних (знизу і зверху) функцій, що скорочує час оптимізації у порівнянні з прямим перебором варіантів.

Предложенный метод оптимизации базируется на использовании неадитивной функции уменьшения времени хода поездов на участках (объектах), которые подлежат реконструкции. Эффект в процедуре оптимизации достигается благодаря введению новых полуадитивных (снизу и сверху) функций, что уменьшает время оптимизации по сравнению с прямым перебором вариантов.

The proposed optimization method is based on usage of a non-additive function of cutting the train running time upon sections (facilities), subject to reconstruction. The effect in the optimization procedure is being reached thanks to introduction of new semi-additive (from bottom and from top) functions, which reduces the optimization time in comparison with linear search of the options.

1. Постановка задачі – системний підхід

Перебудова ділянок залізниці під швидкісний рух поїздів вимагає певних витрат. Як показує практика, одночасна перебудова великої кількості об'єктів на напрямках, які модернізуються, неможлива за безліччю різних причин, основними з яких є обмеження фінансових і матеріально-технічних ресурсів. Звідси виникає задача вибору оптимальної послідовності реконструкції лінії при обмежених ресурсах. При цьому важливо не тільки раціонально розподілити капітальні вкладення по ділянках, що входять у міжнародні транспортні коридори, але й ефективно їх використовувати.

При вирішенні задачі оптимальної перебудови ділянки транспортного коридора залізнична лінія розглядається як комплексна система, що складається з пристроїв і споруд, які через недосконалий технічний стан можуть обмежувати рівень швидкостей руху поїздів на кожній конкретній ділянці [1]. Тому виникає необхідність по кожному бар'єрному місцю на залізниці знати допустиму швидкість руху поїздів, а також параметри пристроїв, під які необхідно перевлаштувати залізницю, щоб реалізувати ці швидкості.

Для проведення досліджень на різних етапах функціонування система розділяється на підсистеми:

Ω – підсистема 2-го рівня (перегін, станція) – множина об'єктів ω , що обмежують швидкість руху і підлягають реконструкції

(крива, ділянка хворого земляного полотна, дефектна штучна споруда, переїзд тощо);

ω – об'єкт, що характеризується довжиною (l), і вартістю реконструкції (K) для досягнення допустимої швидкості [V] із кінцевої кількості можливих варіантів (m);

Ω^* – підмножина $\Omega^* \subseteq \Omega$, що складається з об'єктів ω , які підлягають реконструкції;

Δt – скорочення часу руху;

f_T – результати тягових розрахунків, що враховують стан перегону до $(\Omega_{j,k})$ і після $(\Omega_{j,k}^*)$ реконструкції, результати на попередній $(\Omega_{j-1,k}^*)$ і наступній $(\Omega_{j+1,k}^*)$ ділянках, а також параметри ділянки $(P_{j,k})$, що не включені в об'єкти можливої реконструкції;

H – підсистема 1-го рівня (відокремлена ділянка) – множина ділянок 2-го рівня; відокремленою будемо вважати таку залізничну ділянку, яка складається з одного або декількох перегонів, та починається і закінчується станцією, де поїзд має обов'язкову зупинку;

M – система (міжнародний коридор) – множина ділянок 1-го рівня;

D – перелік затримок у русі поїзда, що не враховані в структурі підсистеми H ;

i – номер об'єкта реконструкції (ω) від 1 до n у множині Ω ;

j – номер перегона (Ω) від p до z у множині H ;

k – номер відокремленої ділянки (H) від r до q у множині M .

$$\Omega_{j,k} = \{\omega_{1,j,k}, \omega_{2,j,k}, \dots, \omega_{i,j,k}, \dots, \omega_{n,j,k}\};$$

$$\omega = [l, [V]_s, K_s], \quad s = [1; m];$$

$$\exists s \in [1; m] \quad K_s = 0, \quad [V]_s = \min\{[V]\};$$

$$l(\Omega_{j,k}) \geq \sum_{i=1}^n l(\omega_i);$$

$$\Omega_{j,k}^* \subseteq \Omega_{j,k};$$

$$\Omega_{j,k}^* = \left\{ \omega_{i,j,k} \in \Omega_{j,k} \mid \Delta t(\Omega_{j,k}^*) \rightarrow \max, K(\Omega_{j,k}^*) \rightarrow \min \right\};$$

$$\Delta t(\Omega_{j,k}^*) = f_T \left(\begin{array}{c} \Omega_{j-1,k}^*, \Omega_{j,k}^*, \Omega_{j,k}^*, \Omega_{j+1,k}^*, \Pi_{j,k} \\ : \Pi_{j,k} \setminus \Omega_{j,k} = \emptyset \end{array} \right);$$

$$K(\Omega_{j,k}^*) = \sum K(\omega_{i,j,k} \in \Omega_{j,k}^*);$$

$$H_k = \{\Omega_p, \Omega_{p+1}, \dots, \Omega_z\}; j \in [p; z];$$

$$l(H_k) = \sum_{j=p}^z l(\Omega_{j,k});$$

$$H_k^* \subseteq H_k \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta t(H_k^*) \rightarrow \max \\ K(H_k^*) \rightarrow \min \end{array} \right.;$$

$$K(H_k^*) = \sum_{j=p}^z K(\Omega_{j,k}^*);$$

$$\Delta t(H_k^*) = f_T(H_k^*);$$

$$M = \{H_r, H_{r+1}, \dots, H_q\}; k \in [r; q];$$

$$l(M) = \sum_{k=r}^q l(H_k);$$

$$M^* \subseteq M \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta t(M^*) \rightarrow \max \\ K(M^*) \rightarrow \min \end{array} \right.;$$

$$K(M^*) = \sum_{k=r}^q K(H_k^*);$$

$$\Delta t(M^*) = \sum_{k=r}^q f_T(H_k^*) - D.$$

Сформулюємо задачу оптимізації.

Знайти такі технічні характеристики $[V]_s$ і K_s для всіх елементарних об'єктів ω системи M ($M = \{\omega_{i,j,k}\}$), при яких реконструйована система M^* дасть скорочення часу руху Δt не менше потрібного ΔT при мінімальній вартості реконструкції K :

$$M^* \subseteq M \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta t(M^*) \geq \Delta T \\ K(M^*) \rightarrow \min \end{array} \right. .$$

При обмежених інвестиціях на реконструкцію K_0 задача може бути сформульована у наступному вигляді

$$M^* \subseteq M \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta t(M^*) \rightarrow \max \\ K(M^*) \leq K_0 \end{array} \right. .$$

2. Метод вирішення – застосування функції множини в моделі раціональної реконструкції ділянок залізниці при неадитивному критерії

Представимо локальну ділянку залізниці як набір об'єктів ω_i . Нехай Ω – безліч об'єктів ω_i . Тоді задача зводиться до визначення такої підмножини Ω^* , щоб реконструкція обраних об'єктів забезпечувала скорочення часу не менше заданого, а її вартість при цьому була мінімальна.

Розглянемо кілька типів такого роду задач, що відрізняються різновидом деяких умов.

Задача 1. Знайти $\Omega^* \subseteq \Omega$ так, щоб

$$\left\{ \begin{array}{l} K(\Omega^*) \rightarrow \min \\ \Delta t(\Omega^*) \geq \Delta T \end{array} \right. , \quad (1)$$

$$K(\Omega^*) = \sum_{\omega \in \Omega^*} C_0(\omega),$$

$$\Delta t(\Omega^*) = f_i(\Omega^*) > \sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t(\omega),$$

де $K(\Omega^*)$ – вартість реконструкції набору об'єктів Ω^* ; $\Delta t(\Omega^*)$ – скорочення часу руху за рахунок реконструкції набору об'єктів Ω^* .

Визначення величини $\Delta t(\Omega^*)$ є складною задачею, тому що об'єкти, розташовані відносно недалеко друг від друга, будуть впливати на визначення відповідних величин $\Delta t(\omega_i)$, рис. 1. Тому функцію скорочення часу $\Delta t(\Omega^*)$ неправильно розглядати як суму скорочень часу по кожному об'єкту. У більшості випадків виграш часу від усунення обмеження залежить від того, на якій швидкості поїзд наближається до бар'єрного місця і яку може набрати швидкість після його проходження. Тому під час рішення задачі оптимізації для кожного набору об'єктів Ω^* , що розглядалися, значення функції $\Delta t(\omega_i)$ визначалися в процесі виконання тягових розрахунків [2].

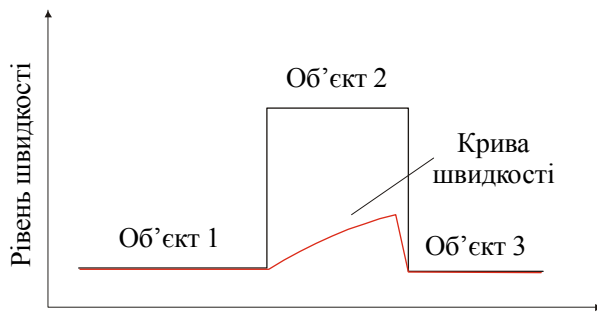


Рис. 1. Вплив близько розташованих об'єктів на визначення функції $\Delta t(\Omega^*)$

Одним зі способів рішення задачі 1 є перебирання усіх можливих варіантів Ω^* з визначенням для кожного з них параметра Δt в процесі тягових розрахунків. У такий спосіб кількість переборів складе $2^m - 1$, де m – кількість розглянутих об'єктів.

Основною складністю в застосуванні для рішення розглянутої задачі математичних методів оптимізації функції множини є *неадитивність* функції скорочення часу руху від набору об'єктів, що підлягають реконструкції.

Одним із способів вирішення неадитивності може бути виділення тільки незалежних об'єктів, розташованих на такій відстані друг від друга, що наявність чи відсутність обмежень на одному об'єкті не впливає на криву швидкості руху поїзда по іншому об'єкту. Такі рішення пропонувалися в ряді робіт [3–5], од-

нак такий підхід сильно обмежує застосування методики, а для вирішення задачі на локальній ділянці, наприклад, у межах перегону, неможливий.

Для розробки нової методики будемо ускладнювати задачу поетапно. На початковому етапі приймемо, що

$$\Delta t(\Omega^*) = \sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t(\omega),$$

де $\Delta t(\omega)$ – скорочення часу руху від зняття обмеження по одному об'єкту ω

$$\Delta t(\omega) = T(\Omega^* = \{\}) - T(\Omega^* = \omega), \quad (2)$$

де $T(\Omega^*)$ – час руху по ділянці, отриманий за результатами тягових розрахунків при знятті обмежень з об'єктів, що складають підмножину Ω^* .

Тепер можна сформулювати більш просту задачу.

Задача 2. Визначити підмножину $\Omega^* \subseteq \Omega$, щоб мало місце

$$\begin{cases} K(\Omega^*) \rightarrow \min; \\ \Delta t(\Omega^*) \geq \Delta T; \end{cases}$$

$$K(\Omega^*) = \sum_{\omega \in \Omega^*} C_0(\omega);$$

$$\Delta t(\Omega^*) = \sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t(\omega).$$

Для вирішення задачі скористаємося методом, запропонованим проф. Босовим А. А. [6]. Рішенням буде підмножина $\Omega^*(\mu)$

$$\Omega^*(\mu) = \left\{ \omega \in \Omega : K(\Omega^*) - \mu \Delta t(\omega) \leq 0 \right\},$$

де μ – невизначений множник.

Для кожного об'єкта ω визначається співвідношення $\frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)}$. Формується множина Ω' , що містить у собі елементи множини Ω , упорядковані по зростанню відношення $\frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)}$.

Шукана підмножина визначається як

$$\Omega^*(\mu) = \left\{ \omega \in \Omega' : \frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)} \leq \mu \right\}. \quad (3)$$

Множник μ керує, на якому об'єкті множини Ω' необхідно зупинитися при формуванні підмножини Ω^* , і визначається з нерівності

$$\sum_{\omega \in \Omega^* (\mu)} \Delta t(\omega) \geq \Delta T.$$

Функцію $\Delta t(\omega)$, визначену за формулою (2), можна вважати *напівадитивною знизу*. Позначимо її як Δt_n , тоді вірна нерівність

$$\sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t_n(\omega) < \Delta t(\Omega^*),$$

де $\Delta t(\Omega^*)$ – скорочення часу від реконструкції об'єктів підмножини Ω^* , визначене за результатами тягових розрахунків.

Аналогічно можна визначити функцію скорочення часу руху, що буде *напівадитивною зверху*

$$\sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t_e(\omega) > \Delta t(\Omega^*),$$

де $\Delta t_e(\omega) = T(\Omega^* = \Omega \setminus \omega) - T(\Omega^* = \Omega)$.

З урахуванням введення нових підходів *про напівадитивність функцій*, можна одержати рішення задачі 2 для розглянутого прикладу з використанням функції скорочення часу як *напівадитивної зверху*.

Грунтуючись на вищевикладеному, остаточний алгоритм рішення задачі 1 буде наступним.

1. Задається множина Ω – перелік об'єктів можливої реконструкції з відповідними рівнями швидкостей і вартістю переходу, $K(\omega)$. Задається необхідне скорочення часу руху ΔT_0 .

2. Виконуються тягові розрахунки для одержання значень функцій $\Delta t_n(\omega)$ і $\Delta t_e(\omega)$, кількість розрахунків $2m$, де m – кількість об'єктів.

3. Вирішується задача 2 з функцією $\Delta t_n(\omega)$. У результаті одержуємо підмножину $\Omega_n^* \subseteq \Omega$, для якої уточнюємо скорочення часу руху $\Delta t(\Omega_n^*)$ тяговими розрахунками.

4. Виконується операція $\Omega_n^* = \Omega_n^* \setminus \omega_k$, де ω_k – останній елемент підмножини Ω_n^* . Для нового значення Ω_n^* тяговими розрахунками визначається величина $\Delta t(\Omega_n^*)$. Пункт 4 повторюється доти, поки вірна нерівність $\Delta t(\Omega_n^*) \geq \Delta T$.

5. Вирішується задача 2 з функцією $\Delta t_e(\omega)$. Для результату рішення – підмножини

$\Omega_e^* \subseteq \Omega$ – тяговими розрахунками визначається скорочення часу руху $\Delta t(\Omega_e^*)$.

6. Виконується операція $\Omega_e^* = \Omega_e^* / \omega_j$, поки не виконається нерівність $\Delta t(\Omega_e^*) \geq \Delta T$, де ω_j – елемент множини Ω' (див. алгоритм рішення задачі 2), що йде за останнім елементом у підмножині Ω_e^* .

7. Як остаточне рішення вибирається те з двох, вартість об'єктів якого мінімальна

$$\Omega^* = \begin{cases} \Omega_n^*, & K(\Omega_n^*) < K(\Omega_e^*), \\ \Omega_e^*, & K(\Omega_e^*) < K(\Omega_n^*) \end{cases}.$$

Необхідність у виконанні пунктів 4 і 6 випливає з властивостей *напівадитивних функцій*, тому що для $\forall \Omega^* \subseteq \Omega$ будуть справедливі наступні нерівності:

$$\sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t_n(\omega) \geq \Delta t(\Omega^*);$$

$$\sum_{\omega \in \Omega^*} \Delta t_e(\omega) \leq \Delta t(\Omega^*).$$

Основні витрати часу при машинному рішенні розглянутих задач приходяться на виконання тягових розрахунків. При переборі усіх варіантів їх необхідно виконати $2^m - 1$ раз, де m – кількість об'єктів. При використанні розглянутого алгоритму кількість тягових розрахунків буде залежати від збіжності (сходимості) процесів у пунктах 4 і 6, у самому несприятливому випадку загальна кількість складе $3m + 1$ раз. У такий спосіб буде досягнуте скорочення часу розрахунків не менше, ніж у $\frac{2^m - 1}{3m + 1}$ разів. Для розглянутих дев'яти об'єктів час розрахунків скорочується в 9 разів, а, наприклад, для двадцяти об'єктів – у 17190 разів. Важливо відзначити, що при використанні запропонованого алгоритму, по-перше, час розрахунків лінійно залежить від кількості об'єктів, і, по-друге, при їхньому збільшенні буде спостерігатися тенденція зміщення кількості розрахунків до величини $2m + 2$. Зазначені переваги дозволяють застосовувати запропоновану методику для одержання швидкого рішення для ділянки з декількома десятками взаємозалежних об'єктів обмеження швидкості руху.

При необхідності одержати рішення для всіх можливих ΔT , щоб мати можливість підібрати

оптимальне співвідношення між скороченням часу ходу і необхідними для цього засобами, можлива наступна зміна розглянутого алгоритму.

1–2. Див. вище.

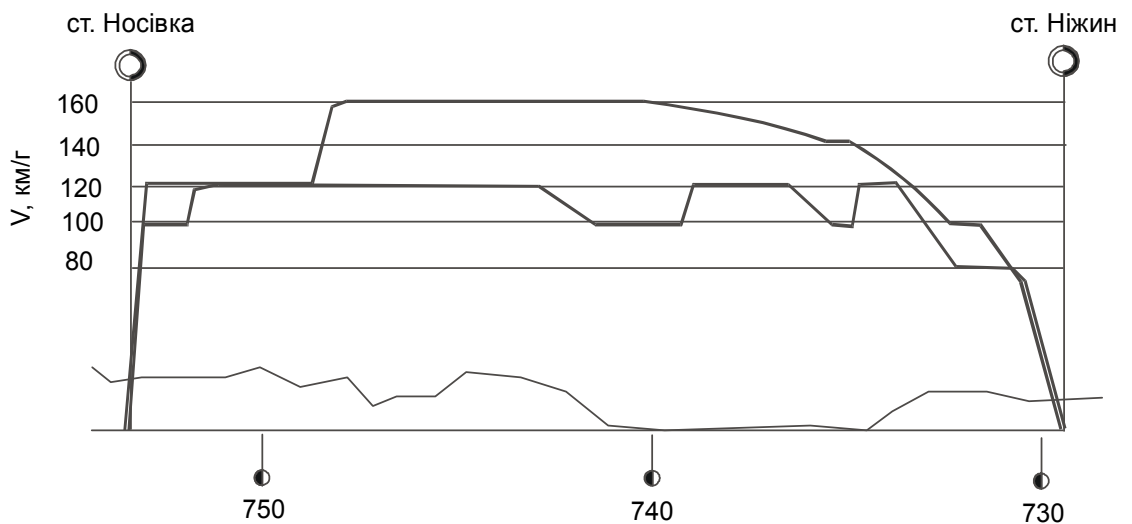
3. Вирішується задача 2 з функцією $\Delta t_n(\omega)$ для $\Delta t(\Omega^*_n) \in (\Delta t(\Omega^* = \{\}); \Delta t(\Omega^* = \Omega))$ й уточнюються $\Delta t(\Omega^*_n)$ тяговими розрахунками. Результатом є множина A , елемент якої складається з набору об'єктів Ω^* , скорочення часу $\Delta t(\Omega^*)$ і їхньої вартості $K(\Omega^*)$, причому елементи множини A упорядковані по $\Delta t(\Omega^*)$ і $K(\Omega^*)$.

4. Формується множина B аналогічно множині A в попередньому випадку, але з використанням функції $\Delta t_g(\omega)$.

5. Формується множина $C = A \cup B$ і упорядковується за величиною $\Delta t(\Omega^*)$.

6. З множини C виключаються i -ті елементи, які не задовольняють умові $K(\Omega^*_{i-1}) < K(\Omega^*_i) < K(\Omega^*_{i+1})$. Сформована множина є остаточним результатом.

Застосуємо викладений алгоритм для розглянутої ділянки «Ніжин–Носівка» Південно-Західної залізниці. На рис. 2 показані дев'ять об'єктів можливої реконструкції і криві швидкості руху пасажирського поїзда, що відповідають крайнім станам системи: 1 – при наявності обмежень швидкості по всіх об'єктах, $\Omega^* = \{\}$; 2 – при реконструкції всіх об'єктів, $\Omega^* = \Omega$. У табл. 1 наведені вартості реконструкції кожного з об'єктів і скорочення часу руху поїзда, що будуть досягнуті при реконструкції тільки одного з них, $\Omega^* = \omega_i$.



Довжина об'єкту, м	1243	3332	20	1967	40	5513	400	1386	40	4341	40	2621	20	2492
Назва об'єкту	ст. Носівка		перейзд		труба	Капітальний ремонт	зем. полотно	кап. ремонт	мост 2	Капітальний ремонт	мост 1	кап. ремонт	Перейзд	ст. Ніжин
Умовне позначення				об1		кр4		об2		кр2	м1	кр1	п1	

Рис. 2. Об'єкти можливої реконструкції і криві швидкості руху пасажирського поїзда, що відповідають крайнім технічним станам системи

Вартість реконструкції об'єктів

Порядковий номер	Позначення об'єкта	Швидкість руху, км/год		Вартість реконструкції, тис. грн	Скорочення часу*, с
		до реконстр.	після реконстр.		
1	Ніжин	80	100	4750	42
2	п1	120	140	600	0
3	кр1	120	140	1570	0
4	м1	100	140	200	12
5	кр2	120	160	3040	12
6	про1	100	160	2875	42
7	кр4	120	160	3860	30
8	про2	120	160	9760	6
9	Носівка	100	120	1980	6

Примітка. * Наведене скорочення часу руху від реконструкції кожного з об'єктів окремо

Поступове отримання результатів наведено в табл. 2–4. На рис. 3 показано зіставлення залежності вартості реконструкції від скорочення часу руху, отримане суцільним перебором варіантів, і за розглянутим алгоритмом. Для наочності рішення конкретне значення скорочення

часу руху ΔT не задавалося, а розглядалися всі можливі варіанти $\Delta T \in [0; \Delta t(\Omega^* = \Omega)]$, з знаходженням оптимальної підмножини за критерієм $K(\Omega^*) \rightarrow \min$.

Таблиця 2

Множина А

Вартість реконструкції $K(\Omega^*)$, тис. грн	Скорочення часу $\Delta t(\Omega^*)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, Ω^*
12	200	4,
54	3075	4, 6,
114	6935	4, 6, 7,
180	9975	4, 6, 7, 5,
186	11955	4, 6, 7, 5, 9,
228	59455	4, 6, 7, 5, 9, 1,
258	69215	4, 6, 7, 5, 9, 1, 8,
258	69815	4, 6, 7, 5, 9, 1, 8, 2,
294	71385	4, 6, 7, 5, 9, 1, 8, 2, 3,

Таблиця 3

Множина В

Вартість реконструкції $K(\Omega^*)$, тис. грн	Скорочення часу $\Delta t(\Omega^*)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, Ω^*
12	200	4,
54	3075	4, 6,
102	6115	4, 6, 5,
180	9975	4, 6, 5, 7,

Вартість реконструкції $K(\Omega^*)$, тис. грн	Скорочення часу $\Delta t(\Omega^*)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, Ω^*
210	11545	4, 6, 5, 7, 3,
210	12145	4, 6, 5, 7, 3, 2,
240	21905	4, 6, 5, 7, 3, 2, 8,
246	23885	4, 6, 5, 7, 3, 2, 8, 9,
294	71385	4, 6, 5, 7, 3, 2, 8, 9, 1,

Таблиця 4

Множина С

Вартість реконструкції $K(\Omega^*)$, тис. грн.	Скорочення часу $\Delta t(\Omega^*)$, с	Набір об'єктів, що підлягають реконструкції, Ω^*
12	200	4,
54	3075	4, 6,
102	6115	4, 6, 5,
114	6935	4, 6, 7,
180	9975	4, 6, 7, 5,
210	11545	4, 6, 5, 7, 3,
240	21905	4, 6, 5, 7, 3, 2, 8,
246	23885	4, 6, 5, 7, 3, 2, 8, 9,
258	69215	4, 6, 7, 5, 9, 1, 8,
294	71385	4, 6, 7, 5, 9, 1, 8, 2, 3,

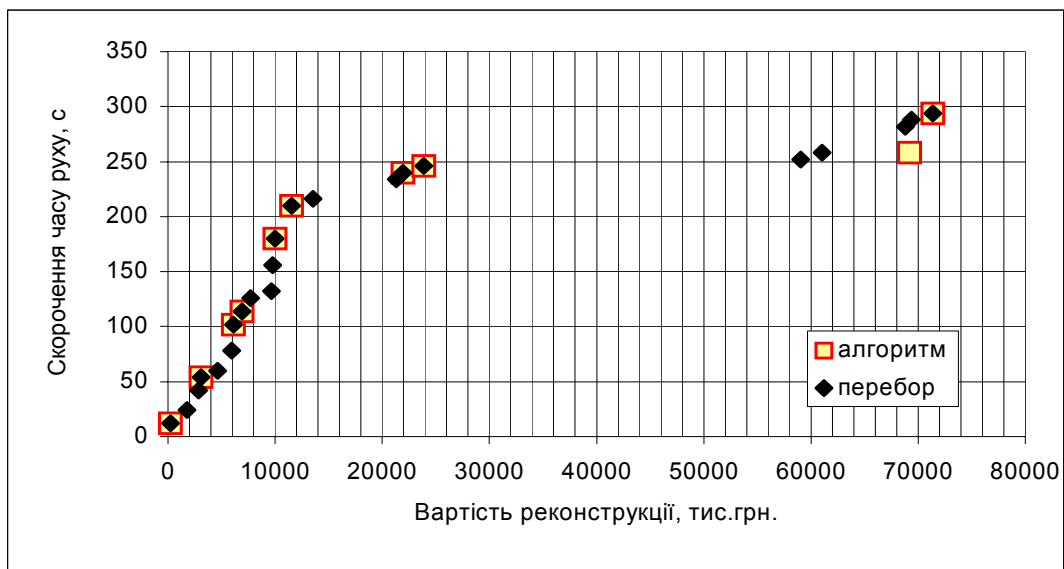


Рис. 3. Залежність вартості реконструкції від скорочення часу руху, отримане суцільним перебором варіантів і за розглянутим алгоритмом

Порівняння результатів розрахунків показує, що використовуючи запропоновану методику отримані набори об'єктів збігаються з от-

риманими методом суцільного перебору. Однак деякі з можливих рішень виявилися пропущеними. Це можна пояснити тим, що для окремих

об'єктів співвідношення $\frac{K(\omega)}{\Delta t(\omega)}$ істотно зале-

жить від того, чи підлягають реконструкції сусідні об'єкти і змінює його положення при упорядкуванні, див. формулу (3). Як правило, пропущеними виявляються об'єкти, близько розташовані до інших за параметрами $K(\Omega^*)$ і $\Delta t(\Omega^*)$, однак загальна тенденція залежності вартості реконструкції від необхідного скорочення часу не порушується. Таким чином, запропонована методика може бути прийнята як оптимізаційний спосіб рішення як задачі 2, так і більш складної – задачі 1.

Новий підхід до оптимізації став можливим завдяки консультаціям проф. Босова А. А. щодо застосування нового класу функцій, а розробка програмного забезпечення – завдяки участі доц. Кургана Д. М., за що автор висловлює їм щиро подяку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Босов А. А., Корженевич И. П., Курган М. Б., Курган Д. М. Вирішення задачі оптимальної перебудови ділянки для організації швидкісного

руху поїздів / Транспорт // Зб. наук. пр. ДПТУ. Вип. 12. – Д., 2002. – С. 43–49.

2. Босов А. А., Рыбкин В. В., Курган Н. Б., Харлан В. И. Назначение этапности мероприятий в путевом хозяйстве по повышению скоростей движения поездов / Вестник Белорусского государственного университета транспорта // Научно-производственный журнал «Наука и транспорт». – 2002, № 2(5). – С. 32–38.
3. Гавриленков А. В., Иванов Г. Г., Макушкина Е. А. Оптимальная стратегия повышения скорости движения поездов // Межвуз. сб. науч. тр. / МИИТ. – 1986. – Вып. 771. – С. 9–12.
4. Копыленко В. А. Техничко-экономическая модель задачи оптимального переустройства эксплуатируемой линии для повышения скорости поездов // Межвуз. сб. науч. тр. / МИИТ. – 1986. Вып. 771. – С. 50–66.
5. Игнатова Ж. А., Карпов М. И., Матвиенко А. А. Влияние распределения локальных ограничений на повышение скоростей движения пассажирских поездов / Меж. сб. науч. тр. – Д., 1989. – С. 63–66.
6. Босов А. А. Применение функций множества в инженерных и экономических задачах / Транспорт / Зб. наук. праць ДПТУ. Вип. 12. – Д., 2002. – С. 20–29.

Надійшла до редколегії 08.10.03.

В. В. РИБКІН, М. Б. КУРГАН, Н. В. ХАЛПОВА (ДІПТ),
В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця)

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ БАР'ЄРНИХ МІСЦЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Запропонований підхід обґрунтування параметрів плану лінії для ліквідації бар'єрних місць базується на моделюванні просторових коливань вантажного і пасажирського вагонів, що забезпечує комфортабельність їзди пасажирів при впровадженні швидкісного руху.

Предложен подход обоснования параметров плана линии для ликвидации барьерных мест, который базируется на моделировании пространственных колебаний грузового и пассажирского вагонов и обеспечивает комфортность езды пассажиров при введении скоростного движения.

An approach has been proposed to substantiation of the track plane parameters with the aim of removal of barrier places. The approach is based on modelling spatial fluctuations of freight and passenger cars and provides for comfort of passenger journeys at introduction of high-speed traffic.

1. Загальні положення. Постановка задачі

Реконструкція траси існуючих залізниць з метою організації швидкісного руху поїздів приводить до необхідності зміни параметрів кривих, в тому числі і радіуса. Задача вибору мінімально допустимого радіуса кругової кривої не проста, тому що при підвищенні швидкостей руху збільшується динамічний вплив рухомого складу на рейкову колію, в зв'язку з чим відбувається зростання вертикальних і горизонтальних сил. Зменшення динамічного впливу досягається зменшенням вантажонапруженості. Наприклад, на польських залізницях прийнято, що при введенні для пасажирських поїздів максимальної швидкості до 160 км/год швидкість вантажних поїздів може бути меншою чи рівною 100 км/год при вантажонапруженості 10 млн т·км/км, при швидкості 161...200 км/год – швидкість вантажних поїздів не менше 100 км/год, а вантажонапруженість 5 млн т·км/км [1].

Незважаючи на зниження обсягів перевезень за останні роки, умови роботи залізниць України залишаються більш важкими, ніж на закордонних дорогах. Це, насамперед, характеризується інтенсивністю перевезень вантажів і пасажирів, величиною статичного навантаження на вісь, середньою вагою вантажних поїздів, що обертаються. За таким показником, як середня маса поїзда, українські залізниці випереджають всі європейські держави (після Росії). Вантажонапруженість магістральних ліній України в 3,5 рази перевищує середньоєвропейський рівень [2].

Як правильно в цих умовах встановити значення мінімально допустимого радіуса кривих, підвищення зовнішньої рейки і довжини перехідних кривих при реконструкції існуючих залізниць?

При встановленні мінімального радіуса необхідно забезпечити виконання наступних вимог:

- міцність і надійність несучих елементів конструкцій верхньої будови колії;
- стійкість рейко-шпальної решітки поперечному зсуву по баласту;
- стійкість коліс від вкочення на головку рейки;
- комфортабельність їзди пасажирів.

Слід відмітити, що при виборі мінімального радіуса кривих в умовах суміщеного вантажного й пасажирського руху поїздів необхідно забезпечити найкращі умови роботи колії, що можливо при мінімізації впливу вантажного рухомого складу на рейкову колію.

2. Прийняті вихідні дані і результати розрахунків

У даний час існують різні пропозиції щодо встановлення мінімально допустимих радіусів кривих у плані на ділянках швидкісного руху поїздів.

Обґрунтування оптимального варіанта повинно включати техніко-економічні розрахунки, що враховують умови роботи колії, швидкість руху і базуються на моделюванні руху пасажирського і вантажного вагонів по кривих різних радіусів з визначенням спектра динамічних показників, а також враховувати вартість уположення кривих, що зв'язана з переносом вісі колії на нову трасу.

Вихідні дані для першої частини досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані

Показники	Максимальна швидкість пасажирських поїздів 140 км/год на кривих ділянках колії з параметрами				
	800	1000	1200	1400	1600
R , м	800	1000	1200	1400	1600
h , мм	60	60	60	60	60
$L_{\text{пер}}$, м	70	70	70	70	70
h , мм	90	90	90	90	90
$L_{\text{пер}}$, м	100	100	100	100	100
h , мм	120	120	120	120	120
$L_{\text{пер}}$, м	130	130	130	130	130
h , мм	150	150	150	150	150
$L_{\text{пер}}$, м	170	170	170	170	170

У таблиці позначені:

h – підвищення зовнішньої рейки;

$L_{\text{пер}}$ – довжина перехідної кривої;

V_{min} – мінімальна швидкість вантажних поїздів.

При виконанні розрахунків була використана математична модель і програма обчислень, розроблені лабораторією динаміки і міцності рухомого складу ДПТУ [3], за допомогою якої визначалися переміщення, сили і прискорення при русі вагонів по інерційній пружно-дисипативній залізничній колії з вертикальною і горизонтальною нерівностями для різних екіпажів, рівнів швидкості, підвищення зовнішньої рейки і радіусів кривих.

Для знаходження бічної сили, що діє на рейки з боку коліс, і рамних сил, що діють на колісні пари, обчислювалась направляюча сила, що являє собою реакцію рейки на загальний опір повороту візка (екіпажа) при русі по кривій. Визначення цієї сили відноситься до класу задач геометричного вписування. Для візкових екіпажів найбільш типовим є перекисне положення, що змінюється після кожного імпульсу в зоні контакту гребеня колеса з рейками.

При відомих направляючих силах HN , бічні HB і рамні сили HR визначались за формулами:

$$HB_{(i,j,k)} = HN_{(i,j,k)} - Y_{(i,j,k)},$$

$$HR_{(i,j)} = HN_{(i,j,k)} - \sum_{k=1}^2 Y_{(i,j,k)},$$

де i – номер візка; j – номер колісної пари у візку; k – сторона (1 – ліва, 2 – права, якщо дивитися на вагон позаду); $Y_{(i,j,k)}$ – поперечні сили тертя між рейкою і лівим чи правим колесом відповідної колісної пари і візка.

Як приклад, вираз для визначення бічної сили, що діє з боку колії на ліве колесо першої колісної пари першого візка буде мати вигляд

$$HB_{(1,1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

Значення рамної сили, що діє на першу колісну пару першого візка, визначається з виразу

$$HR_{(1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

Крім бічних сил, був проаналізований цілий спектр різних динамічних показників, отриманих при моделюванні просторових коливань пасажирського і вантажного вагона:

$k_{VD(i,j,k)}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки колії по силах взаємодії коліс з рейками (відношення динамічної добавки вертикальної сили до статичного тиску колеса на рейку);

$k_{GD(i,j,k)}$ – коефіцієнт горизонтальної динаміки колії по горизонтальних силах взаємодії коліс з рейками;

$SI_{(k)}$ – кромочні напруження в підшві рейки під колесами першої колісної пари;

$F_{(k)}$ – фактор зносу бічної грані бандажа колеса першої колісної пари першого візка;

$\Pi_{(k)}$ – показник зносу поверхні кочення колеса першої колісної пари першого візка;

$k_{VKO(i,j)}$ – коефіцієнт стійкості від сповзання колеса на рейку.

Програма здійснює інтегрування системи диференціальних рівнянь у процесі руху вагона на ділянці колії 100 м. Після виключення на довжині близько 50 м перехідного процесу, виконується розрахунок екстремальних і статистичних характеристик найбільших значень сил, переміщень і прискорень, що виникають при русі вагона по реальних нерівностях колії.

Для кожного з динамічних показників визначались:

– мінімальні значення F_{\min} і абсциса колії, при якій досягнуте X_{\min} ;

– максимальне значення F_{\max} і відповідна абсциса колії X_{\max} ;

– середнє значення показника на даній ділянці M ;

– дисперсія D ;

– середньоквадратичне відхилення S ;

– максимально-ймовірне значення, що дорівнює $|M| + 2,5S$.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки, кромочні напруження, бокові сили та інші показники були використані при обґрунтуванні мінімального радіуса кривих, довжини прямих вставок між суміжними кривими, для вибору підвищення зовнішньої рейки від потоку поїздів різних категорій тощо.

В табл. 2–4 наведені результати розрахунків для пасажирського вагона, що були отримані на основі моделювання взаємодії колії і пасажирського вагона при русі по кривих і використані для наступного аналізу.

Таблиця 2

Максимально імовірні бокові сили

Варіант	Параметри кривої	Максимально імовірні бокові сили							
		Укр111	Укр112	Укр121	Укр122	Укр211	Укр212	Укр221	Укр222
Радіус кривої 800 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	58,83	12,01	41,54	7,9	54,86	10,22	40,71	10,29
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	55,82	11,33	38,42	9,05	48,94	9,13	35,70	11,36
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	57,34	11,39	39,52	8,64	52,71	9,60	38,33	10,45
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	54,15	10,33	36,80	9,43	48,40	8,66	34,91	11,23
Радіус кривої 1000 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	41,500	5,020	27,690	8,370	37,890	5,100	27,180	11,760
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	38,582	5,506	25,145	9,797	32,943	6,252	23,605	12,367
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	38,048	5,357	24,543	9,754	33,118	5,986	23,363	12,263
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	36,915	5,520	23,656	10,079	32,180	6,193	22,467	12,521
Радіус кривої 1200 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	29,47	4,80	18,84	11,15	26,28	5,67	19,49	13,27
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	26,31	5,72	16,16	11,34	22,05	6,18	16,29	12,85
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	26,13	5,87	16,25	11,73	22,47	6,50	16,60	13,19
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	25,33	6,13	15,85	12,03	21,61	6,70	15,92	13,38
Радіус кривої 1400 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	20,92	5,59	15,10	11,38	18,34	6,83	16,37	12,46
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	18,79	6,07	13,72	11,26	15,26	7,15	14,23	11,61
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	18,03	6,05	12,99	11,31	15,02	7,18	13,89	11,92
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	17,28	6,60	12,73	11,58	14,62	7,49	13,53	12,17

Таблиця 3

Максимально імовірні рамні сили і коефіцієнт горизонтальної динаміки

Варіант	Параметри кривої	Рамні сили				Коефіцієнт горизонтальної динаміки			
		перша вісь перший візок	друга вісь перший візок	перша вісь другий візок	друга вісь другий візок	перша вісь перший візок	друга вісь перший візок	перша вісь другий візок	друга вісь другий візок
Радіус кривої 800 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	39,61	36,78	38,74	41,07	0,28	0,26	0,27	0,29
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	37,95	35,44	35,32	37,95	0,27	0,25	0,25	0,27
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	38,19	35,68	36,51	38,84	0,24	0,22	0,21	0,23
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	36,72	34,46	34,38	36,83	0,19	0,19	0,16	0,19
Радіус кривої 1000 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	30,990	30,080	30,240	33,580	0,220	0,210	0,210	0,240
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	29,569	28,991	27,620	31,003	0,2079	0,2039	0,1959	0,2201
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	29,569	28,991	27,620	31,003	0,2079	0,2039	0,1959	0,2201
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	28,481	27,962	26,652	29,900	0,1459	0,1514	0,1258	0,1533
Радіус кривої 1200 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	25,73	26,28	24,93	28,95	0,18	0,19	0,18	0,21
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	23,36	24,02	21,88	25,74	0,17	0,17	0,15	0,18
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	23,78	24,47	22,55	26,36	0,15	0,16	0,14	0,16
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	23,48	24,22	22,01	25,84	0,12	0,13	0,11	0,13
Радіус кривої 1400 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	21,79	23,48	20,99	25,70	0,15	0,17	0,15	0,18
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	20,35	22,08	18,61	22,95	0,14	0,15	0,13	0,16
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	19,64	21,41	18,43	22,89	0,13	0,14	0,11	0,14
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	19,68	21,51	18,12	22,49	0,10	0,12	0,09	0,11

Таблиця 4

Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу

Варіант	Параметри кривої	Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу							
		111	112	121	122	211	212	221	222
Радіус кривої 800 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	2,09	5,08	2,99	6,25	2,45	6,1	2,09	5,08
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	2,08	5,13	2,80	6,83	2,34	6,63	3,03	4,59
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	2,11	6,08	2,91	6,53	2,23	7,56	3,20	5,40
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	2,42	10,19	3,44	6,45	3,37	8,94	4,95	5,65
Радіус кривої 1000 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	2,83	10,33	3,90	7,08	3,11	7,84	4,09	5,05
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	2,75	8,93	3,94	6,27	3,04	7,28	4,19	5,34
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	2,78	10,54	4,25	6,77	3,13	9,65	4,87	5,83
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	3,81	10,73	6,22	6,89	4,76	9,43	6,45	6,37

Варіант	Параметри кривої	Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу							
		111	112	121	122	211	212	221	222
Радіус кривої 1200 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	3,56	10,60	5,08	6,43	3,92	7,14	4,66	4,43
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	4,00	9,71	6,29	6,75	4,32	9,13	6,59	5,51
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	3,50	10,08	5,69	6,72	3,78	8,19	6,10	5,20
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	4,68	9,19	7,54	7,29	6,49	8,70	6,41	6,55
Радіус кривої 1400 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	4,57	9,12	6,12	6,02	4,68	7,14	5,67	5,27
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	4,51	9,96	6,20	6,04	4,97	8,38	6,28	5,67
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	5,11	10,42	7,70	6,51	5,69	9,30	7,04	7,06
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	7,29	9,55	8,00	7,95	9,65	10,67	8,57	8,83

3. Забезпечення міцності несучих елементів конструкцій верхньої будови колії

При підвищенні швидкостей руху поїздів зростає динамічний вплив на колію рухомого складу, в зв'язку з чим збільшуються вертикальні і горизонтальні сили і, як наслідок, напруження в кромках підшви рейок. Останній показник, тобто максимальні напруження, що виникають в кромках підшви рейки, використовується як критерій для встановлення допустимих швидкостей. Максимально ймовірні кромочні напруження не повинні перевищувати 240 МПа для колії з рейками Р65, чим і визначається допустима швидкість руху.

Відомо, що на величину кромочних напружень впливають такі фактори як швидкість руху, величина радіусу, підвищення зовнішньої

рейки, тип рухомого складу (осьове навантаження) та ін. Вплив перелічених факторів на величину напружень різний. Для встановлення залежності кромочних напружень від величини радіусів кривих, які можуть підлягати перебудові на швидкісних ділянках, використовуємо результати дослідних поїздок швидкісних електровозів ЧС2м і ЧС4, що були проведені Всеросійським науково-дослідним інститутом залізничного транспорту [4; 5] і дані виконаних розрахунків, що отримані на основі моделювання руху вагона.

На рис. 1 показані графіки кромочних напружень, отриманих за експериментом, на прямих і кривих ділянках колії при різних значеннях швидкості руху.

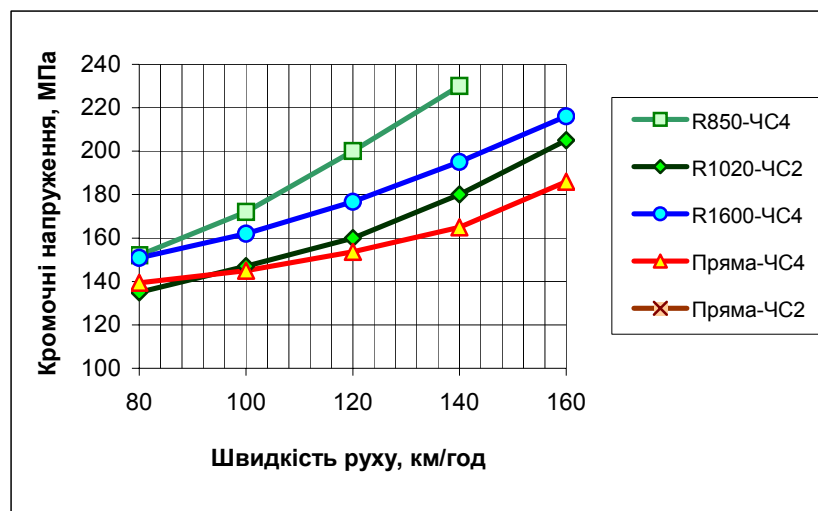


Рис. 1. Залежність напружень в кромках підшви рейки від швидкості руху електровоза на прямій і в кривих різних радіусів

Аналіз графіків показав, що значення кромочних напружень інтенсивно зростають при підвищенні швидкості руху і досить точно апроксимуються поліномом 4-го ступеня. При збільшенні швидкості руху від 120 до 160 км/год напруження в кромках підшви рейки зростають за розрахунками на 26,8 %, за експериментом – на 28,1 %. Можна вважати, що модель адекватно відображає реальний рух екіпажів. Таким чином, перехід до швидкісного

руху призводить до збільшення напружень в середньому в 1,3 рази, але в кривих радіусом 1000 м і більше максимальні напруження не перевищують допустимих значень.

Оскільки на величину кромочних напружень впливає величина встановленого підвищення зовнішньої рейки, то були виконані відповідні розрахунки з використанням моделі і результати наведені на рис. 2.

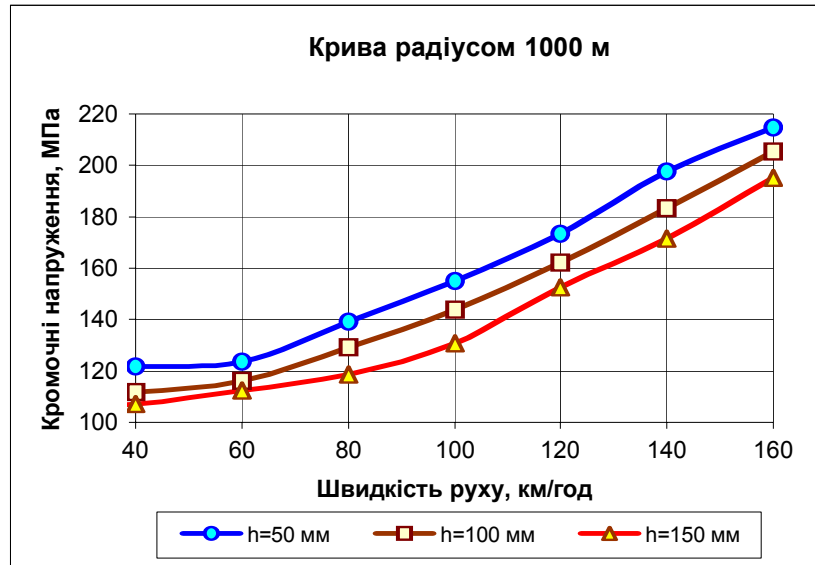


Рис. 2. Залежність напружень в кромках підшви рейки від швидкості руху для кругової кривої радіусом 1000 м з підвищенням зовнішньої рейки 50, 100 і 150 мм

Аналіз графіків показує, що більш суттєво на величину кромочних напружень впливає величина швидкості і радіус кривої і значно менше величина підвищення зовнішньої рейки. Так, при збільшенні підвищення від 50 до 100 мм або від 100 до 150 мм напруження в кромках підшви рейок зменшуються на 5–10 %.

За умови неперевикнення непогашених прискорень $0,7 \text{ м/с}^2$ при проходженні найбільш швидкого поїзда, мінімальні радіуси складають відповідно 1200 м при максимальній швидкості 140 км/год і 1500 м при максимальній швидкості 160 км/год (рис. 3). Отже, в таких кривих не виникає загроза щодо перевищення допустимих значень кромочних напружень.

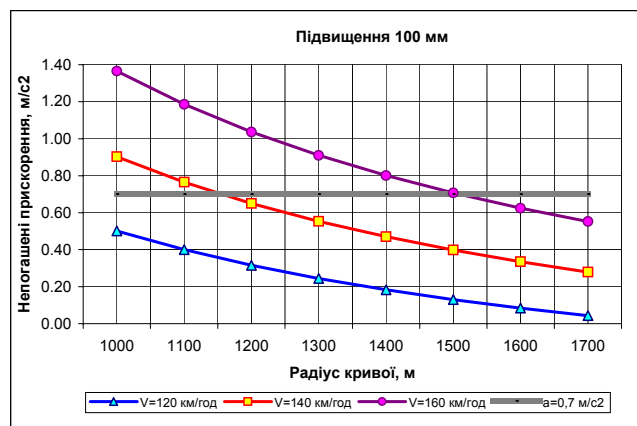


Рис. 3. Залежність поперечних непогашених прискорень від радіуса кривої для максимальної швидкості 120, 140 і 160 км/год

Іншим фактором, що визначає безпеку руху і міцність колії є бокові сили, що виникають при русі в кривих. На рис. 4 показані залежності максимально ймовірних бокових сил при русі вантажного вагона в кривій радіусом 700 м.

При збільшенні швидкості від 40 до 80 км/год, тобто вдвічі, бокові сили збільшую-

ться в 1,2 рази і досягають 45–50 кН, що вдвічі менше допустимого значення (рис. 4). При збільшенні підвищення бокові сили зменшуються, але цей вплив менш суттєвий. Так, при збільшенні підвищення від 30 до 60 мм, або від 60 до 120 мм, бокові сили зменшуються всього на 5–6 % (див. рис. 4).

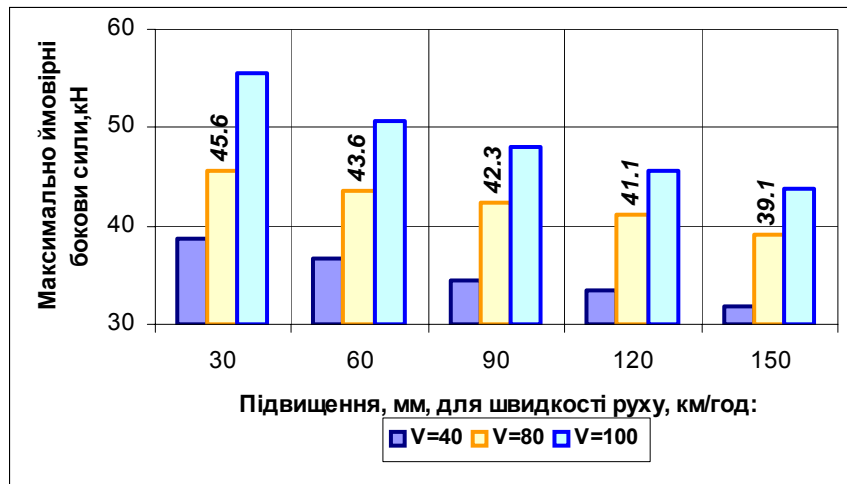


Рис. 4. Залежність максимально ймовірних бокових сил від швидкості руху і підвищення зовнішньої рейки в кривій радіусом 700 м

Аналогічні результати отримані для пасажирського вагона при моделюванні його руху в кривій радіусом 1000 м (рис. 5). При підвищен-

ні швидкості руху від 120 до 160 км/год бокові сили збільшуються вдвічі, але не перевищують допустимих.

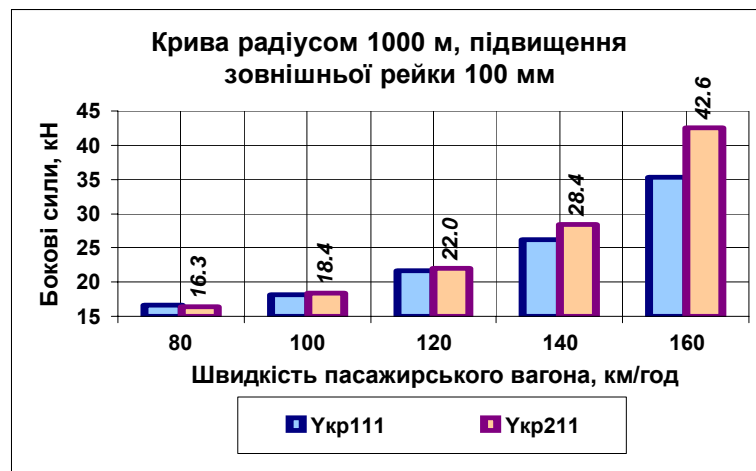


Рис. 5. Залежність максимально ймовірних бокових сил від швидкості руху в кривій радіусом 1000 м

4. Забезпечення стійкості рейко-шпальної решітки поперечному зсуву по баласту

Крім забезпечення міцності елементів верхньої будови колії, важливе значення має умова

забезпеченості стійкості рейко-шпальної решітки проти зсуву по баласту. При підвищенні швидкості руху різко зростають поперечні сили в сполученні з короточасним зменшенням вертикального навантаження. Аналіз великої кі-

лькості дослідних матеріалів показує, що ймовірність одночасного сполучення максимальних значень горизонтальних навантажень на колію з мінімальною величиною вертикальних сил, що сприймається шпалою, близька до нуля [6]. Тому розрахунковий опір шпали зсуву прийнято визначати по середніх значеннях вертикального навантаження від коліс на рейки. Коефіцієнт стійкості рейко–шпальної решітки в колії з щебневим баластом повинен бути

$$k_{ZSU} = \frac{H_{\max}}{P_{\text{сеп}}} \leq 1,4, \quad (1)$$

де H_{\max} – максимальна горизонтальна сила, що сприймається шпалою від направляючого колеса екіпажа;

$P_{\text{сеп}}$ – середнє значення динамічного вертикального навантаження рейки на шпалу.

Як показали розрахунки, значення коефіцієнта k_{ZSU} знаходиться в діапазоні 0,73 для радіуса 1000 м до 0,50 для радіуса 1500 м при

максимальній швидкості 160 км/год, тобто умова (1) виконується.

Наступним важливим показником є коефіцієнт горизонтальної динаміки колії k_{GD} , який є критерієм безпеки від зсуву рейко–шпальної решітки. Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили Y_p до статичного навантаження $P_{\text{ст}}$ колісних пар на рейки

$$k_{GD} = \frac{Y_p}{P_{\text{ст}}} \leq 0,4. \quad (2)$$

З рис. 6 видно, що при максимальній швидкості 140 км/год коефіцієнт горизонтальної динаміки менший 0,35 при радіусі 1000 м і підвищенні зовнішньої рейки 60 мм, тобто умова (2) безпеки від поперечного зсуву рейко–шпальної решітки забезпечується.

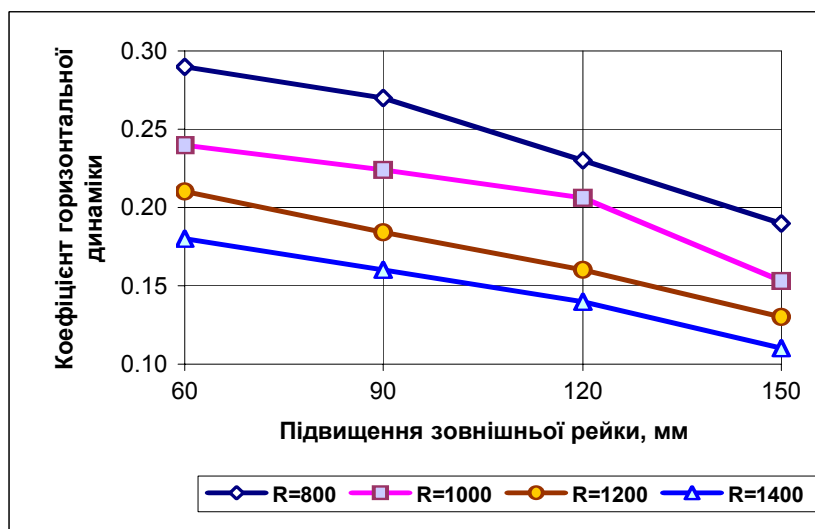


Рис. 6. Зміна коефіцієнта горизонтальної динаміки в залежності від радіуса кривої і підвищення зовнішньої рейки

При збільшенні підвищення зовнішньої рейки коефіцієнт k_{GD} зменшується. Так, при збільшенні підвищення від 60 до 90 мм k_{GD} зменшується на 7 %. При збільшенні радіуса від 1000 м до 1200 м коефіцієнт горизонтальної динаміки колії зменшується в 1,2 рази.

5. Забезпечення стійкості коліс проти кочення на головку рейки

Стійкість колеса проти вкочення його гребня на рейку залежить від відношення бокової сили Y_B , що передається від колеса на рейку,

до вертикальної сили P взаємодії колеса й рейки

$$k_{VKO} = \frac{Y_B}{P} > [1,4]. \quad (3)$$

Перевірка щодо забезпечення безпеки від сходу коліс з рейок показала, що коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки k_{VKO} знаходиться в діапазоні 1,7...2,5 для вантажних і більше 2,0 для пасажирських вагонів (рис. 7), що перевищує допустиме значення 1,4 при ймовірності 0,01, тобто умова (3) теж виконується.

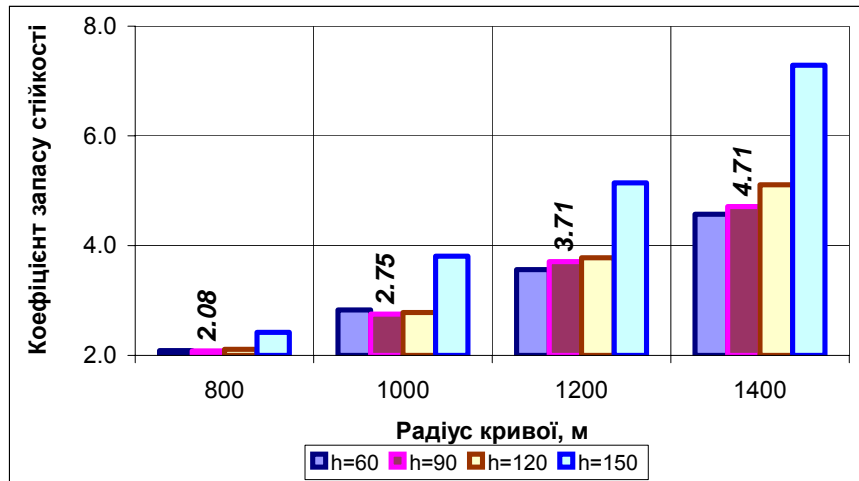


Рис. 7. Зміна коефіцієнта запасу стійкості проти вкочення на головку рейки

7. Забезпечення неперевищення непогашених прискорень

Виконання цієї умови розповсюджується на пасажирські й вантажні поїзди, тобто:

– неперевищення непогашених прискорень, спрямованих від центру кривої при проходженні швидкого поїзда

$$\alpha_{\text{нп пас}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}}; \quad (4)$$

– обмеження непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю

$$\alpha_{\text{нп вант}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}}; \quad (5)$$

де $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}}$, $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}}$ – допустимі непогашені прискорення відповідно для пасажирських ($\pm 0,7$) і вантажних ($\pm 0,3$) поїздів, м/с^2 .

Необхідно підкреслити, що критерій $0,7 \text{ м/с}^2$ є не тільки показником комфортабельності їзди для пасажирів. Усі іспити нового і модернізованого рухомого складу проводяться на основі вимог неперевищення такого прискорення, габарити в кривих прийняті також із умови нахилу кузова на ресорах при $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ [7]. Таким чином, цей критерій забезпечує і комфортабельність і безпеку руху. За цим критерієм встановлюються і мінімально допустимі радіуси кругових кривих (див. рис. 3).

З урахуванням сумішеного руху пасажирських і вантажних поїздів на швидкісних напрямках залізниць, максимальне розрахункове підвищення не повинно перевищувати 90–110 мм. Величина максимального підвищення за-

лежить від значення мінімального радіуса кривих, максимальної швидкості пасажирських і мінімальної швидкості вантажних поїздів та інші факторів. В свою чергу, від прийнятого підвищення залежить мінімальне значення радіусу. Розрахунки показали, що для вищезазначених умов можна рекомендувати мінімальний радіус

1200 м при встановленій максимальній швидкості 140 км/год і 1500 м – при швидкості 160 км/год.

Висновки

1. На основі аналізу даних, отриманих з використанням моделі і результатів експериментів встановлено, що максимально імовірні кромочні напруження досягають 200–220 МПа в кривих радіусом 1000 м і не перевищують допустимого значення 240 МПа. При такому ж радіусі значення коефіцієнта стійкості рейкошпальної решітки в колії з щебеним баластом становить 0,7–0,8, що менше допустимого значення. Коефіцієнт горизонтальної динаміки колії, який можна вважати критерієм безпеки від зсуву рейкошпальної решітки, не перевищує допустимого значення 0,4 в кривих радіусом 1000–1200 м. При таких радіусах забезпечується також стійкість коліс проти вкочення на головку рейки.

2. Визначальною умовою для визначення мінімального радіуса є неперевищення допустимих непогашених прискорень. А тому при виборі мінімально допустимого радіуса, в зв'язку з перебудовою кривої, достатньо обмежитись умовами неперевищення непогашених

прискорень, спрямованих від центра кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда і неперевикнення непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю. При такому радіусі кривої будуть забезпечені всі інші вимоги, тобто міцність елементів верхньої будови колії, стійкість рейко–шпальної решітки поперечному зсуву й стійкість коліс проти вкочення їхніх гребенів на головку рейки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дифференцированные технические требования для железнодорожного пути в сообщении Европа – Азия. Р 786/1.1-е изд. Утв. совещ. V Комиссии ОСЖД, Варшава, 1999. – 25 с.
2. Кирпа Г. Н., Корженевич И. П., Курган Н. Б. Динаміка транспортних сполучень та діяльність залізничного транспорту України за період 1991–2000 рр. / Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних заходів і поїздів. Праці Зах. наук. центру, Львів, 2000, № 8. – С. 67–70.
3. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения. / Под ред. М. А. Чернышова. – М.: Транспорт, 1964. – 272 с.
4. Желнин Г. Г., Молодилов В. А., Певзнер В. О. и др. Динамические качества и воздействие на путь скоростных электропоездов ЧС4, ЧС2м, ВЛ40, тепловоза ТЭ109 и электропоезда ВЛ8 с модернизированной экипажной частью / Труды ЦНИИ МПС, вып. 542. – М.: Транспорт, 1975. – С. 4–78.
5. Данович В. Д., Рейдемейстер А. Г., Халипова Н. В. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. Вып. 8 – Д., 2001. – С. 124–138.
6. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного. – М., Транспорт, 1976. – 416 с.
7. Певзнер В. О. Устройство пути в кривых: повышение и отводы / Путь и путевое хозяйство, 2001, № 11. – С. 10–13.

Надійшла до редколегії 08.10.03.

В. А. АНДРЮЩЕНКО, В. В. СКАЛОЗУБ (ДИИТ), В. В. ВЕЛИКОДНЫЙ (Укрзализныця),
С. Ю. ЦЕЙТЛИН (Информационно-статистический центр Приднепровской ж. д.)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ ИНОСТРАННЫХ СОБСТВЕННИКОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Побудовано аналоги топологічних рівнянь Мейсона для нечітких потокових графів. Розглянуто питання прогнозування строків руху іновагонів на основі нечітких даних про процеси перевезень.

Построены аналоги топологических уравнений Мейсона для нечетких потоковых графов. Рассмотрены вопросы прогнозирования сроков движения иновагонов на основе нечетких данных о процессах перевозок.

Analogues have been constructed of Mason topologic equations for flows graphs, described by fuzzy values. Based on the fuzzy data on railway operation processes, the issue of forecasting the foreign-owned wagons movement periods has been considered.

Постановка задачи прогнозирования

Таблица 1

В связи с разделом вагонного парка стран СНГ стали актуальными задачи контроля сроков пребывания и своевременного возвращения вагонов государствам собственникам, а также разработки методики определения экономической целесообразности попутной погрузки иновагонов [1].

Одним из основных направлений решения этих задач является изучение и обобщение характеристик вагонопотоков по данным мониторинга процесса перевозок с использованием базы данных вагонной модели дороги (ВМД). На основе полученной информации о свойствах вагонопотоков осуществляется оперативное прогнозирование временных характеристик движения иновагонов различного рода.

Для решения задачи прогнозирования используются данные о выполнении операций с каждым вагоном (номер вагона, тип операции, дата и время, код станции) из заданного временного интервала, предшествующего прогнозируемому периоду.

Структура и характеристики вагонопотоков определяются с учетом специфики движения разного рода вагонов, а также с учетом технологических и экономических характеристик транспортных подсистем (сетей).

Сравнительный анализ данных ВМД показывает, что для каждого рода вагонов характерны свои особенности в объемах и сроках перевозок (табл. 1). Причем, разнородные вагонопотоки имеют не только количественные, но и качественные различия в структуре движения по транспортной сети.

Среднее время движения иновагонов за период с 01.01.2002 по 15.05.2002

Участок	Крытые	Платформы	Полувагоны	Цистерны
Синельниково1 – Запорожье Левое	139,2	132,2	113,1	129,2
Синельниково1 – Мелитополь	–	215,0	279,0	279,4
Синельниково1 – Синельниково1	75,9	65,0	49,4	62,0
Запорожье Левое – Запорожье Левое	1687,6	1073,4	972,7	849,6
Запорожье Левое – Мелитополь	–	220,0	–	195,7

Рис. 1 показывает нестационарность параметров вагонопотоков. Например, рассмотрение параметров времени движения цистерн по сети за первую и вторую половину рассматриваемого периода позволило установить, что гипотеза о равенстве математического ожидания времен движения за первую и вторую половину анализируемого периода верна с уровнем значимости 0,2. Это свидетельствует о том, что различие средних значений за исследуемый период не является случайным, а временные параметры движения вагонов нестационарны. Анализ данных ВМД о движении иновагонов по полигону железных дорог, подобных рис. 1, не дает достаточных оснований для однозначного принятия основной гипотезы теории вероятности: о статистической однородности и несвязанности неконтролируемых в опытах процессов, которые вызывают стохастический ха-

раक्टर параметров железнодорожных перевозок [2]. При этом правомерным является применение моделей и методов, которые не требуют такого рода допущений. Далее будем рассматривать нечеткие модели данных [3], характеризующие процесс перевозок.

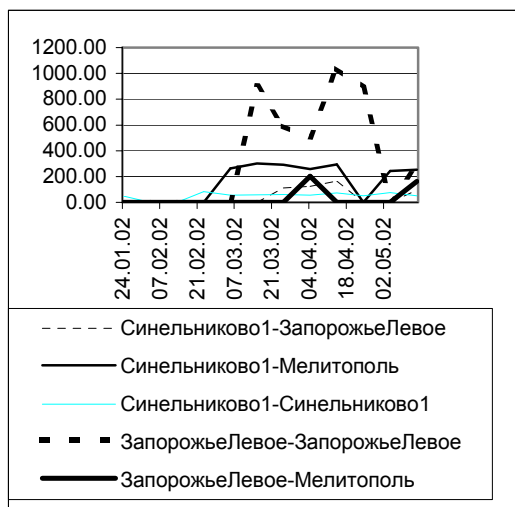


Рис. 1. Среднее время движения вагонов (цистерны)

Прогнозирование с использованием нечетких множеств

При решении задачи прогнозирования в условиях, когда сложность объекта снижает эффективность традиционных методов, более успешно могут быть применены методы теории нечетких множеств [3], в частности, обеспечивающие получение прогнозов на основе продукционных правил [6].

Использование результатов повагонного моделирования неоднородных транспортных потоков на базе ВМД позволяет идентифицировать структуру и рассчитать оценки параметров нечетких графов, характеризующих движение вагонов различного рода, в котором узлы – это станции, а дуги – пути движения вагонов (рис. 2). Множество узлов, дуг графа и веса дуг зависят от рода подвижного состава и от характеристик движения за взятый период [4].

Поскольку узлы графа соответствуют станциям, изменение местоположения вагона означает его перемещение по дуге графа, соединяющей разные станции. Выполнение операции на одной станции без перемещения вагона соответствует петле графа.

В графовой модели вес дуги является обобщенной характеристикой, он учитывает параметры движения и простоев на станциях всех вагонов за заданный период. Считается, что вес дуги имеет две составляющих – объемную и

временную. Объемная отражает относительную часть вагонопотока, который перемещается по дуге, временная – время перехода по дуге в минутах.

В качестве модели, определяющей время движения по дуге, будем принимать треугольную нечеткую величину $(T_{\min}, T_i^*, T_{\max})$ [2; 3], где T_{\min} и T_{\max} – минимальное и максимальное время перехода по дуге, T_i^* – время перехода, отмеченное у наибольшего количества вагонов за анализируемый период.

Объемная характеристика дуги описывается треугольной нечеткой величиной $(\alpha_{\min}, \alpha_i^*, \alpha_{\max})$, отражающей относительную долю вагонопотока дуги в общем выходе потока из узла.

Основным методом оценки значений временных характеристик вагонопотока для решения задачи является построение нечеткого аналога топологического уравнения Мейсона [5]. Уравнение используется для определения характеристик дуги, которая является эквивалентной заменой всего нечеткого потокового графа [4].

Охарактеризуем выполнение дуг графа $G(U, \tilde{W})$ аналогом производящей функции ГЕРТ–систем [5] в форме пары двух нечетких величин $\tilde{w}_{ij} = (\tilde{T}_{ij}; \tilde{\alpha}_{ij})$, где величина $\tilde{\alpha}_{ij}$ устанавливает, что операция дуги (i, j) будет иметь место, если имеет место узел i , а \tilde{T}_{ij} – временная характеристика этой операции. Величина $\tilde{\alpha}_{ij}$ характеризует объемную составляющую дуги. Определим эквивалентные преобразования нечеткой сети $G(U, \tilde{W})$ при ее «стягивании» в один узел для следующих случаев:

- п1) замена последовательности дуг $(\tilde{w}_{ij}, \tilde{w}_{jk}) \Leftrightarrow \tilde{w}_{ik}$;
- п2) параллельные дуги $(\tilde{w}_{ij}^a, \tilde{w}_{ij}^b) \Leftrightarrow \tilde{w}_{ij}^{a+b}$;
- п3) композиция элементов сети петля – дуга $(\tilde{w}_{ii}^a, \tilde{w}_{ij}) \Leftrightarrow \tilde{w}_{ij}^a$;
- п4) две вложенные петли в узле – дуга $(\tilde{w}_{ii}^a, \tilde{w}_{ii}^b, \tilde{w}_{ij}) \Leftrightarrow \tilde{w}_{ij}^{a \times b}$.

Структура с вложенными петлями введена дополнительно к [5]. Ее производящая функция равна произведению рядов, порожденных петлями. В табл. 2 приведены алгоритмы расчета эквивалентных параметров преобразованных подсетей как нечетких треугольных величин.

Расчет нечетких характеристик эквивалентных подсетей

№ n/n	ГЕРТ–операции преобразования сетей	Аналоги операций над нечеткими дугами	Расчет эквивалентных величин
п1	$w_{ij} \times w_{jk} = w_{jk}$	$\tilde{w}_{ij} \tilde{+} \tilde{w}_{jk} = \tilde{w}_{jk}$	$(\tilde{T}_{ij} \tilde{+} \tilde{T}_{jk}; \tilde{\alpha}_{ij} \tilde{\times} \tilde{\alpha}_{jk})$
п2	$w_{ij}^a + w_{ij}^b = w_{ij}^{(a+b)}$	$(\tilde{w}_{ij}^a \circ \tilde{w}_{ij}^b) = \tilde{w}_{ij}^{(a+b)}$	$((\tilde{T}_{ij}^a \circ \tilde{T}_{ij}^b); \tilde{\alpha}_{ij}^a \tilde{+} \tilde{\alpha}_{ij}^b)$
п3	$w_{ij} / (1 - w_{ii}^a) = w_{ij}^a$	$\tilde{w}_{ij} \tilde{+} (1 - \alpha_{\Delta ii}^a)^{-1} \tilde{*} \tilde{T}_{ii}^a = \tilde{w}_{ij}^a$	$(\tilde{T}_{ij} \tilde{+} \text{inv}(1 + \text{im}(\tilde{\alpha}_{ii}^a)) \tilde{\times} \tilde{T}_{ii}^a; \tilde{\alpha}_{ij})$
п4	не определена	$\tilde{w}_{ij} \tilde{+} \prod_s ((1 - \alpha_{\Delta ii}^s)^{-1} \tilde{*} \tilde{T}_{ii}^s)$	$(\tilde{T}_{ij} \tilde{+} \text{inv}(1 + \text{im}(\tilde{\alpha}_{ii}^a)) \tilde{\times} \tilde{T}_{ii}^a \tilde{\times})$ $(\text{inv}(1 + \text{im}(\tilde{\alpha}_{ii}^b)) \tilde{\times} \tilde{T}_{ii}^b; \tilde{\alpha}_{ij})$

В таблице знаками $\{\tilde{+}, \tilde{\times}\}$ обозначены операции нечеткого сложения и умножения соответственно, а $\text{im}(*), \text{inv}(*)$ – являются операциями построения изображения и инверсии нечетких треугольных величин [3]. Знаком $\{\circ\}$ обозначена операция суперпозиции нечетких величин. Константа 1 как «треугольная» величина представляется тройкой (1, 1, 1). Измененные по сравнению с [4] формулы расчета эквивалентных величин (4-й столбец из табл. 2) позволяют вычислять как временные, так и объемные характеристики вагонопотоков.

Метод расчета нечетких характеристик вагонопотоков по данным мониторинга процесса перевозок

Для определения характеристик вагонопотоков на основе нечеткой модели используются данные ВМД, взятые за предыдущий период по определенному роду подвижного состава. Исходные данные описывают местоположение каждого вагона и точное время окончания каждой проводимой с вагоном операции.

Алгоритм построения нечетких треугольных характеристик следующий:

1) расчет времени выполнения операций. Время выполнения операции определяется как разность времен окончания последующей и предыдущей операции;

2) определение весов дуг графа. Вес дуги имеет две составляющих – объемную и временную;

3) для определения временной характеристики дуги разобьем временной интервал (T_{\min} ,

T_{\max}) движения на N интервалов и построим распределение частот для количества вагонов по каждому временному участку. В качестве временной характеристики дуги принимаем треугольную нечеткую величину в виде тройки времен ($T_{\min}, T_i^*, T_{\max}$), где T_i^* – интервал, на котором распределение имеет максимум;

4) для определения объемной характеристики дуги временной интервал наблюдения разбивается на K участков и по распределению частот относительного количества вагонов, проходящих по каждой дуге, выходящей из узла, принимается треугольная нечеткая величина ($\alpha_{\min}, \alpha_i^*, \alpha_{\max}$) в качестве объемной характеристики дуги;

5) выполняются эквивалентные преобразования нечеткого графа с использованием операций из табл. 2.

Пример расчета нечетких характеристик

Рассмотрим построение нечеткого графа и расчет эквивалентных характеристик движения цистерн для направления Синельниково-1–Мелитополь Приднепровской дороги.

Данными для идентификации структуры графа являются данные из ВМД за период с 01.01.2002 по 15.05.2002.

Для цистерн узлами графа являются станции Синельниково-1, Запорожье-Левое, Запорожье-1, Запорожье-2, Мелитополь (рис. 2).

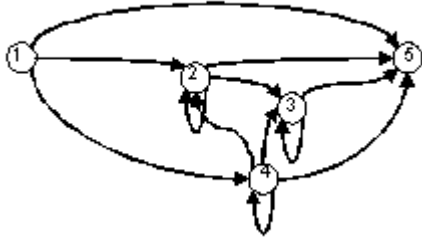


Рис. 2. Граф движения вагонопотоков (цистерны):
 1 – Синельниково-1; 2 – Запорожье-Левое;
 3 – Запорожье-2; 4 – Запорожье-1; 5 – Мелитополь

Построенные по приведенному выше алгоритму нечеткие временные характеристики дуг имеют значения:

$$\tilde{T}_{12} = (79; 140; 245);$$

$$\tilde{T}_{14} = (100; 130; 270);$$

$$\tilde{T}_{15} = (230; 285; 366);$$

$$\tilde{T}_{22} = (280; 600; 1792);$$

$$\tilde{T}_{23} = (13; 22; 38);$$

$$\tilde{T}_{25} = (163; 200; 211);$$

$$\tilde{T}_{33} = (3; 60; 1033);$$

$$\tilde{T}_{35} = (140; 162; 201);$$

$$\tilde{T}_{42} = (36; 40; 59);$$

$$\tilde{T}_{43} = (12; 13; 14);$$

$$\tilde{T}_{44} = (6; 22; 163);$$

$$\tilde{T}_{45} = (127; 136; 223).$$

Объемные характеристики дуг имеют значения:

$$\alpha_{12} = (0,170; 0,286; 0,395);$$

$$\alpha_{14} = (0,091; 0,194; 0,251);$$

$$\alpha_{15} = (0,463; 0,520; 0,584);$$

$$\alpha_{22} = (0,651; 0,752; 0,840);$$

$$\alpha_{23} = (0,140; 0,193; 0,233);$$

$$\alpha_{25} = (0,050; 0,055; 0,096);$$

$$\alpha_{33} = (0,618; 0,672; 0,728);$$

$$\alpha_{35} = (0,307; 0,328; 0,400);$$

$$\alpha_{42} = (0,083; 0,133; 0,154);$$

$$\alpha_{43} = (0,036; 0,072; 0,131);$$

$$\alpha_{44} = (0,514; 0,578; 0,596);$$

$$\alpha_{45} = (0,163; 0,217; 0,250).$$

Используя нечеткий аналог уравнения Мейсона для замкнутых графов, запишем структурное выражение для оценки времени движения цистерн из Синельниково-1 в Мелитополь:

$$\tilde{w}_E = \tilde{w}_{15} \tilde{+} \left(\tilde{w}_{12} \tilde{+} \tilde{w}_{14} \tilde{\times} \frac{\tilde{w}_{42}}{1 - \tilde{w}_{44}} \right) \tilde{\times} \left(\frac{\tilde{w}_{25}}{1 - \tilde{w}_{22}} \tilde{+} \frac{\tilde{w}_{23}}{1 - \tilde{w}_{22}} \tilde{\times} \frac{\tilde{w}_{35}}{1 - \tilde{w}_{33}} \right) \tilde{+} \tilde{w}_{14} \tilde{\times} \left(\frac{\tilde{w}_{45}}{1 - \tilde{w}_{44}} \tilde{+} \frac{\tilde{w}_{43}}{1 - \tilde{w}_{44}} \tilde{\times} \frac{\tilde{w}_{35}}{1 - \tilde{w}_{33}} \right).$$

В результате расчетов по правилам из табл. 2 получим

$$\tilde{w}_E = ((227; 327, 72; 3556) (0,52; 0,69; 0,92)).$$

Структура графа движения вагонов разного рода по одному и тому же направлению отличается. На рис. 3 показан граф движения крытых вагонов. Структурное выражение для оценки времени движения крытых вагонов будет иметь вид

$$\tilde{w}_E = \tilde{w}_{45} \tilde{\times} \left(\tilde{w}_{14} \tilde{\times} \tilde{w}_{12} \tilde{\times} \left(\frac{\tilde{w}_{24}}{1 - \tilde{w}_{22}} \tilde{+} \frac{\tilde{w}_{24}}{1 - \tilde{w}_{22}} \tilde{\times} \frac{\tilde{w}_{34}}{1 - \tilde{w}_{33}} \right) \right).$$

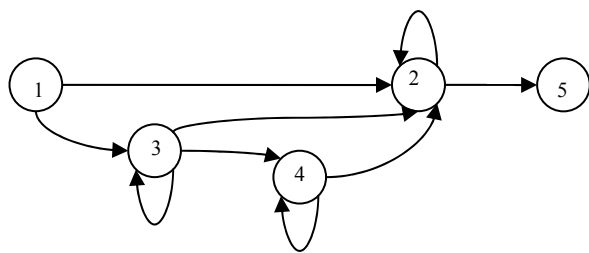


Рис. 3. Граф движения вагонопотоков (крытые вагоны):

1 – Синельниково-1; 2 – Запорожье-Левое;
3 – Запорожье-2; 4 – Запорожье-1; 5 – Мелитополь

Построение и использование нечетких правил вывода для прогнозирования параметров движения иновагонов

Построенные выше нечеткие величины применяются для формирования логических правил вывода в прогнозирующей экспертной системе.

Нечеткое правило логического вывода «если A , то B » представляет собой упорядоченную пару (\tilde{A}, \tilde{B}) , где \tilde{A} – нечеткое подмножество пространства входных значений, \tilde{B} – нечеткое подмножество пространства выходных значений [3; 6]. Нечеткие правила вывода образуют базу правил (БП) системы прогнозирования. Для получения экспертного заключения используются все правила одновременно, но степень их влияния на окончательный результат различна. Особенность процедуры обработки правил состоит в том, что данные о расчетной ситуации, в которой происходит прогнозирование, отличаются от представленных в БП [6]. В нашем случае различие состоит в следующем: правила БП формируются при некотором конкретном распределении общего числа иновагонов по станциям, с учетом относительной части вагонов каждого рода. В ситуации, когда проводится прогнозирование, указанные характеристики отличаются от каждого из представленных в БП правил. Мера соответствия текущих значений распределения вагонов правилам БП характеризует вклад правила в прогнозируемые значения показателей.

Процедура обработки нечетких правил вывода состоит из следующих этапов:

1) вычисление степени истинности частей «если» всех правил – определение степеней принадлежности «текущих» входных значений нечетким подмножествам \tilde{A} правил вывода, составляющих БП;

2) вычисление нечетких подмножеств \tilde{B}_A , указанных в частях «то» правил вывода с учетом значений истинности, полученных на первом этапе;

3) суперпозиция полученных подмножеств \tilde{B}_A .

Для вычисления нечеткого подмножества \tilde{B}_A для каждого правила выполняется произведение нечетких величин \tilde{A} и \tilde{B} по правилу из табл. 2. Суперпозиция или объединение результатов всех правил вывода использует соответствующую операцию из табл. 2. Результатом работы экспертной системы является нечеткая величина «треугольного» вида, характеризующая оценку времени прохождения вагонами определенного рода заданной транспортной подсети. Обработка этих величин методом скаляризации [3] позволяет получить прогноз временных характеристик движения иновагонов.

Анализ нечетких моделей данных о процессе перевозки вагонов

Для оценки адекватности построенных моделей учитывались все возможные пути движения между начальной и конечной станциями исследуемого участка по данным наблюдений. Использовались данные ВМД о движении всего объема иновагонов (крытых и цистерн) за указанный период. Для крытых вагонов количество узлов графа составило 99, количество дуг – 375, число возможных путей движения – 15020. Для цистерн эти величины имели следующие значения: 85 станций, 278 дуг, 118 возможных путей движения вагонов. Количество вагонов, используемых при построении моделей, составило 10647 для крытых вагонов и 81670 для цистерн. Для построения нечетких характеристик каждой дуги, топологического уравнения и вычисления характеристик дуги, являющейся эквивалентной заменой всего нечеткого потокового графа, разработан комплекс программ, позволивший полностью автоматизировать процесс построения модели и оценки результатов.

Методика оценки включает следующие шаги:

- Разделение полной информационной базы ВМД о движении иновагонов на две части – обучающую и проверочную.
- По обучающей выборке строится потоковый граф и определяются характеристики каждой дуги. При этом история движения вагона по предыдущим стан-

циям не учитывается. Свертка графа в виде нечеткой величины отражает итоговое время движения вагонов между начальной и конечной станциями.

- В проверочную выборку входят все те вагоны, которые проследовали полный путь от начальной станции (Синельниково-1) до конечной (Мелитополь). При этом маршрут движения через промежуточные станции во внимание не принимается.
- Для времен движения инованов из проверочной выборки также строится нечеткая характеристика треугольного вида.
- Сравнение нечеткой величины, соответствующей свертке потокового графа, с величиной для проверочной выборки выполняется по значениям, полученным путем скаляризации известным методом «центра тяжести».

Количество вагонов проверочной выборки составило 28 для крытых вагонов и 1814 для цистерн. Эквивалентные временные характеристики потоковых графов составили (237; 239; 542) минуты для крытых вагонов и (226; 402; 1078) минут для цистерн. Нечеткие временные характеристики для вагонов, прошедших полный путь между начальной и конечной станциями, составили (235; 296; 1465) минут для крытых вагонов и (211; 310; 2205) минут для цистерн. При скаляризации методом «центра тяжести» точность прогноза составила 40 % для крытых вагонов и 27 % для цистерн. Среднее время движения вагонов, прошедших полный путь, составило 781 минуту для крытых вагонов и 469 минут для цистерн.

Анализ распределения частот при построении весов дуг графа показал, что функция принадлежности смещена в сторону больших значений, что приводит к существенному накоплению погрешности при выполнении нечетких операций в соответствии с табл. 2. Для устранения эффекта накопления погрешности при выполнении расчетов использовались приведенные нечеткие временные характеристики дуг. Особенностью такой характеристики является способ ее построения. Методика построения следующая:

- Задаем число интервалов распределения. В качестве центрального значения приведенной нечеткой характеристики треугольного вида принимаем середину временного интервала с наибольшим количеством вагонов.

- Левую и правую вершины треугольника определяем как математическое ожидание тех времен движения, которые соответственно меньше или больше центрального значения.

При использовании приведенных нечетких величин эквивалентные временные характеристики потоковых графов составили (244; 254; 338) минуты для крытых вагонов и (364; 446; 607) минут для цистерн. Приведенные нечеткие временные характеристики для вагонов, прошедших полный путь между начальной и конечной станциями, составили (263; 296; 894,17) минут для крытых вагонов и (258,85; 310; 685,18) минут для цистерн. При скаляризации методом «центра тяжести» точность прогноза составила 34 % для крытых вагонов и 22 % для цистерн.

Выполнение операций над треугольными нечеткими величинами приводит к тому, что степень принадлежности становится нелинейной функцией времени. Поэтому кроме «треугольной» была рассмотрена модель «пятиугольных» нечетких величин. Расчеты показали, что их использование существенно не влияет на точность моделирования.

Выводы

В работе исследована структура вагонопотоков иностранных собственников и установлено, что временные, объемные характеристики и маршруты движения инованов разного рода существенно отличаются. При моделировании вагонопотоков необходимо учитывать род подвижного состава как самостоятельную характеристику модели движения инованов.

На основе анализа данных ВМД о процессе движения инованов установлена нестационарность параметров вагонопотоков и ограниченность возможности использования статистических методов.

Разработаны два метода построения нечетких временных характеристик. Первый формирует нечеткую величину в интервале, охватывающем все возможные значения времен движения из обучающей выборки. Во втором случае формируется приведенная нечеткая величина, которая отражает времена движения не всего вагонопотока, а его большей части и сглаживает «выбросы» данных. Анализ показал, что при моделировании движения инованов не требуется более точное описание функций принадлежности (квадратическое и др.),

чем линейные «треугольные» нечеткие величины.

Для уменьшения погрешностей предложенных моделей разработан метод обработки потоковых графов, который включает построение приведенных нечетких величин, выполнение операций над нечеткими дугами графа, суперпозицию с учетом прецедентов, скаляризацию по «центру тяжести» полученной нечеткой величины.

Разработанные методы образуют прогнозирующую экспертную систему по оценке времени движения иновагонов с учетом текущего распределения иновагонов по станциям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила эксплуатации, пономерного учета и расчетов за использование грузовых вагонов

собственности других государств. – К., 1996. – 82 с.

2. Пугачев В. С. Введение в теорию вероятностей. – М.: Наука, 1968. – 368 с.
3. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. – К.: Вища школа, 1990. – 351 с.
4. Скалозуб В. В., Цейтлин С. Ю., Великодний В. В., Андриющенко В. А., Доманская Г. А., Зеленский Ю. В. Объектно-ориентированные модели стохастических нестационарных потоков в транспортных сетях // Системні технології, № 3 – Д., 2001. – С. 141–150.
5. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
6. Представление и использование знаний / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. – М.: Мир, 1989. – 220 с.

Поступила в редколлегію 22.09.03.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА

Предложена методика определения вариантов рациональной структуры пассажирского поезда.

Запропонована методика визначення варіантів раціональної структури пасажирського поїзда.

A technique of determining the options of the passenger train rational pattern has been proposed.

1. Формирование несравнимых вариантов

Вопросы рациональной структуры пассажирского поезда в настоящее время являются весьма актуальными в силу изменения экономической формации, происходящей в Украине.

Традиционно движение пассажирских поездов исследовалось с точки зрения скорости и массы [1].

В качестве показателя эффективности использовались приведенные затраты, вычисление которых осуществлялось на основании метода ставок и заданного коэффициента приведения капитальных и эксплуатационных затрат.

В предлагаемой работе в качестве оценки рациональности структуры пассажирского поезда предлагается использовать прибыль и потери. Последний показатель учитывает две составляющие:

- потери от «холостого» пробега, когда в поезде имеются непроданные места;
- потери из-за того, что в поезде недостаточно мест, чтобы удовлетворить спрос.

Не загромождая изложение, будем рассматривать какой-либо вид пассажирских мест в поезде (спальные, купейные, плацкартные, общие).

В качестве математической модели спроса принимаем случайную величину ξ , имеющую функцию плотности распределения вероятностей $f(x)$, отличную от нуля при $x \in [a, b]$.

Если в поезде имеется y мест, то потери Z и прибыль Π будут определяться по формулам:

$$Z = c(\xi) \operatorname{sign}(y - \xi) + p(\xi - y) \operatorname{sign}(\xi - y);$$

$$\Pi = p(\xi \operatorname{sign}(y - \xi) + y \cdot \operatorname{sign}(\xi - y)) - cy,$$

где c – себестоимость одного места в поезде; p – цена билета.

$$\operatorname{sign}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < 0, \\ 1, & \text{если } x \geq 0. \end{cases}$$

Вычислив математическое ожидание данных показателей, получим

$$F_1(y) = M[Z] = c \int_a^y (y-x)f(x)dx + p \int_y^b (x-y)f(x)dx;$$

$$F_2(y) = M[\Pi] = p \left(\int_a^y xf(x)dx + y \int_y^b f(x)dx \right) - cy.$$

Так как значение средних потерь $F_1(y)$ желательно сделать как можно меньшим, а среднюю прибыль $F_2(y)$ как можно большей, то приходим к задаче векторной оптимизации [2]. Формальная запись которой в рассматриваемом случае представляет собой

$$\begin{pmatrix} F_1(y, p) \\ F_2(y, p) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условии $y \geq 0$.

Отметим, что под решением задачи (1) понимаем набор $Y_* \in R_1^+$, такой, что $\forall y_* \in Y_*$ является эффективным.

Напомним, что y_* является эффективным решением задачи (1), если малейшее отклонение приводит к ухудшению хотя бы одного из показателей.

Необходимое условие того, что y является эффективным решением принимает вид

$$\operatorname{sign} \left(\frac{dF_1}{dy} \right) + \operatorname{sign} \left(-\frac{dF_2}{dy} \right) = 0. \quad (2)$$

Вычислив производные:

$$\frac{dF_1}{dy} = c \int_a^y f(x) dx - p \int_y^b f(x) dx;$$

$$-\frac{dF_2}{dy} = c - p \int_y^b f(x) dx$$

и подставив их в (2) получим

$$\text{sign}\left(c \int_a^y f(x) dx - p \int_y^b f(x) dx\right) + \text{sign}\left(c - p \int_y^b f(x) dx\right) = 0.$$

Положив $p = c\rho$; $u = \int_y^b f(x) dx$, приходим к соотношению

$$\text{sign}(1 - (1 + \rho)u) + \text{sign}(1 - \rho u) = 0. \quad (3)$$

Так как $\rho > 0$, то решение уравнения (3) удовлетворяет неравенствам $\frac{1}{\rho + 1} \leq u \leq \frac{1}{\rho}$, что и определяет набор эффективных значений y_* соотношением

$$\frac{1}{\rho + 1} \leq \int_{y_*}^b f(x) dx \leq \frac{1}{\rho}. \quad (4)$$

Соотношению (4) придадим следующий вид, который будет удобным для выполнения численных расчетов:

$$\frac{\rho - 1}{\rho} \leq \int_a^{y_*} f(x) dx \leq \frac{\rho}{1 + \rho}. \quad (5)$$

Легко убедиться, что решение уравнений

$$\int_a^{y_{*1}} f(x) dx = \frac{\rho - 1}{\rho}, \quad \int_a^{y_{*2}} f(x) dx = \frac{\rho}{1 + \rho}$$

удовлетворяет неравенству $y_{*1} \leq y_{*2}$.

Причем y_{*1} соответствует максимальному значению прибыли, а y_{*2} – минимальному значению потерь.

Таким образом, набор эффективных решений Y_* задачи (1) составляет отрезок $[y_{*1}, y_{*2}]$, который существенно определяется показателем рентабельности ρ .

Функция плотности распределения вероятностей спроса, которую будем отражать записью $f(x, t)$, в общем случае зависит от времени, что приводит к зависимости и множества эффективных решений от времени $Y_*(t)$.

Зависимость от времени, простоты ради, будем рассматривать от дня недели, считая, что поезд отправляется в данном направлении один раз в сутки. Последнее означает, что t принимает целочисленные значения 1, 2, ..., 7 в соответствии с днями недели (понедельник, вторник, ..., воскресенье).

Положив $f_i(x, t)$ распределения для i -го вида мест в поезде и решив задачу (1) для каждого вида мест $i = \overline{1, 4}$, получаем эффективные наборы $Y_{*i}(t), i = \overline{1, 4}; t = \overline{1, 7}$, которые и являются исходными данными для определения структуры поезда в вагонном исчислении при заданном показателе рентабельности ρ .

2. Решение численного примера

Рассматривается поезд, в котором могут быть вагоны трех типов: 1 – спальные, 2 – купейные, 3 – плацкартные.

При заданной рентабельности 20 %, значение показателя ρ равно 1,2.

Функции распределения спроса $f_i(x, t)$ определяем по гистограммам продаж билетов за год с группировкой по дням недели.

Численные значения $f_1(x, 1)$ и интегральной функции $F_1(x, 1)$ распределения вероятностей спроса на спальные места занесем в табл. 1.

Таблица 1

Спрос на спальные места в понедельник

Интервалы группировки	Частоты	Частоты $f_1(x, 1)$	Накопленные частоты $F_1(x, 1)$
(25,30]	1	0,0192	0,0192
(30,35]	1	0,0192	0,0384
(35,40]	1	0,0192	0,0576
(40,45]	0	0	0,0576
(45,50]	2	0,0385	0,0961

Интервалы группировки	Частоты	Частоты $f_1(x,1)$	Накопленные частоты $F_1(x,1)$
(50,55]	4	0,0769	0,1730
(55,60]	6	0,1154	0,2884
(60,65]	25	0,4808	0,7692
(65,70]	9	0,1731	0,9423
(70,75]	3	0,0577	1,0000
Σ	52	1,0000	–

Для определения y_{1*1} и y_{1*2} вычислим:

$$\frac{\rho-1}{\rho} = \frac{1,2-1}{1,2} = \frac{0,2}{1,2} = 0,1(6) \approx 0,167;$$

$$\frac{\rho}{\rho+1} = \frac{1,2}{2,2} = 0,5(4) \approx 0,545.$$

При решении уравнений $F_1(y_{1*1},1) = 0,545$, $F_2(y_{1*2},1) = 0,1667$ определяем интервал, при котором $F_1 < 0,545$, а в следующем $F_1 > 0,545$.

Таким образом, интервалами являются (55,60] и (60,65], следовательно, имеем оценку для y_{1*1} , т. е. $60 < y_{1*1} < 65$.

Аналогично имеем оценку для y_{1*2} , т. е. $50 < y_{1*2} < 55$.

С точностью до пяти спальных мест $y_{1*1} = y_{1*2}$.

Если воспользоваться $F_1(x,1)$ на рис. 4, то с учетом линейной аппроксимации получаем уравнение для определения y_{1*1} и y_{1*2} :

$$0,2884 + \frac{0,7692 - 0,2884}{5}(y_{1*1} - 57,5) = 0,545;$$

$$0,0961 + \frac{0,1730 - 0,0961}{5}(y_{1*2} - 47,5) = 0,167.$$

Откуда получаем

$$y_{1*1} = 57,5 + \frac{0,545 - 0,2884}{0,7692 - 0,2884} \cdot 5 = 60,17;$$

$$0,0961 + \frac{0,1730 - 0,0961}{5}(y_{1*2} - 47,5) = 0,167.$$

Окончательное решение принимаем $y_{1*1} = 60$, $y_{1*2} = 52$.

Подобным образом выполняем вычисления по всем дням недели и результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2

Эффективные структуры пассажирского поезда по дням недели

Дни недели	Спальные места		Купейные места		Плацкартные места	
	y_{i*1}	y_{i*2}	y_{i*1}	y_{i*2}	y_{i*1}	y_{i*2}
Понедельник	60	52	380	357	148	138
Вторник	60	46	415	337	141	132
Среда	61	49	398	376	144	137
Четверг	61	52	399	371	149	140
Пятница	57	34	373	301	150	145
Суббота	27	15	188	132	142	112
Воскресенье	60	47	404	391	149	137

Данные табл. 2 и представляют собой варианты эффективных структур поезда, которые являются исходными данными при определении рациональной структуры поезда в вагонном представлении.

Замечание. Как следует из табл. 2, эффективные структуры в пятницу, и особенно в суббо-

ту, существенно отличаются от остальных дней недели. Это объясняется уменьшением спроса в данные дни. Чтобы стимулировать спрос в эти дни необходимо уменьшить цены на билеты. Таким образом, возникает задача вариации цен на билеты, что давно нашло реализацию в за-

рубежной практике пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочнев Ф. П. Комплексное повышение скоростей движения поездов. – М.: Транспорт, 1989. – 176 с.

2. Босов А. А., Скалозуб В. В. О Парето оптимальных решениях задач векторной оптимизации // Диференціальні рівняння та їх застосування. Д., ДДУ, 1998. – С. 66–70.

Поступила в редколлегию 23.10.03.

МОДЕЛЬ ПЛАНУ РОЗПОДІЛУ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ ПІД НАВАНТАЖЕННЯ

Запропоновано економіко-математичну модель раціонального регулювання потоків порожніх вагонів із врахуванням витрат, що пов'язані з втратами часу вагонами та вантажем у чеканні навантаження, а також на пересування між пунктами навантаження та розвантаження.

Предлагается экономико-математическая модель рационального регулирования потоков порожних вагонов с учетом затрат, связанных с потерями времени вагонами и грузом в ожидании погрузки, а также на перемещение между пунктами погрузки и разгрузки.

An economic and mathematical model of empty carflow rational regulation has been offered, with account of expenditures, related to the time losses by cars and the freight in a pre-loading demurrage, and also the costs of the cars moving from the points of loading to those of unloading.

Однією з найважливіших задач експлуатаційної роботи на залізничному транспорті є раціональне використання порожніх вагонів. За своєю природою ця задача багатокритеріальна. Питанню раціонального регулювання парку вагонів присвячена увага в трудах Е. Г. Гольштейна, Д. Б. Юдіна [1], де пропонується критерій мінімуму експлуатаційних витрат на навантаження. У роботі А. В. Крушевського, К. І. Швецова пропонується модель комплексного регулювання вагонів за критерієм мінімуму загального пробігу навантажених і порожніх вагонів [2]. Модель планування перевезень на замкненому полігоні пропонується в роботі [4]. Група авторів в [3] розглядає оперативний оптимальний розподіл потоків порожніх вагонів на полігоні дирекції перевезень як стохастичну задачу.

Комерціалізація перевезень висуває додаткові вимоги до плану регулювання потоків порожніх вагонів. З одного боку, необхідно по можливості скоротити час простоїв порожніх вагонів між вантажними операціями, а з другого – вчасно задовольнити потреби в порожніх вагонах у пунктах навантаження.

Припустимо, що в рамках визначених регіону та періоду планування маємо N пунктів $ПП_i (i=1, 2, \dots, N)$, в яких є потреба в порожніх вагонах, і множина моментів часу потреби в них $t_{i\lambda} (\lambda \in E_i)$, а також M пунктів звільнення вагонів $ПЗ_j (j=1, 2, \dots, M)$ з моментами звільнення $\tau_{j\mu} (\mu \in H_j)$ вагонів від вантажу та готовності їх до відправки в пункт навантаження.

Крім того, є інформація відносно проміжку часу $r_{ij} (i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M)$, що необхідний для переміщення вагону з пункту звільнення $ПЗ_j$ до пункту потреби в ньому $ПП_i$. Якщо при цьому $p_{j\mu}$ – умовна оцінка одиниці часу простою вагона, який звільнився після розвантаження в пункті $ПЗ_j$ в момент $\tau_{j\mu}$ та готовий до відправки для завантаження в пункт $ПП_i$; $d_{i\lambda}$ – умовна оцінка одиниці часу чекання навантаження вантажем, що готовий до цієї операції в пункті $ПП_i$ в момент часу $t_{i\lambda}$, а c_{ij} – умовна оцінка часу переміщення порожнього вагона з пункту $ПЗ_j$ до пункту $ПП_i$, то цільову функцію математичної моделі можна записати таким чином:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{\lambda \in E_i} \sum_{\mu \in H_j} (g_{ij\lambda\mu} + c_{ij}) x_{ij\lambda\mu} \Rightarrow \min ;$$

$$g_{ij\lambda\mu} = [t_{i\lambda} - (\tau_{j\mu} + r_{ij})] d_{i\lambda}, \text{ якщо } t_{i\lambda} \geq \tau_{j\mu} + r_{ij};$$

$$g_{ij\lambda\mu} = [(\tau_{j\mu} + r_{ij}) - t_{i\lambda}] p_{j\mu}, \text{ якщо } t_{i\lambda} < \tau_{j\mu} + r_{ij};$$

$x_{ij\lambda\mu} = 1$, якщо вагон (група вагонів), який звільнився в пункті $ПЗ_j$ в момент часу $\tau_{j\mu}$, треба подати під навантаження в пункт $ПП_i$ в момент часу $t_{i\lambda}$;

$x_{ij\lambda\mu} = 0$ – у протилежному випадку.

Ця функція цілі відповідає наміру скласти такий план розподілу порожніх вагонів під на-

вантаження, при якому сумарні витрати на простій вагонів у чеканні навантаження та чекання вантажем початку навантаження з урахуванням витрат на доставку вагона з пункту розвантаження до пункту завантаження були б мінімальними при деяких обмеженнях.

Обмеження моделі забезпечують:

- подачу порожнього вагона або групи вагонів під навантаження для кожного моменту потреби в кожному пункті потреби не пізніше деякого критичного моменту часу $T_{i\lambda}$:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{\mu \in H_j} (\tau_{j\mu} + r_{ij}) x_{ij\lambda\mu} \leq T_{i\lambda};$$

$$i = 1, 2, \dots, N; \lambda \in E_i;$$

- вимоги реальності виконання плану:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{\mu \in H_j} x_{ij\lambda\mu} = 1; \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad \lambda \in E_i;$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{\lambda \in E_i} x_{ij\lambda\mu} \leq 1; \quad j = 1, 2, \dots, M; \quad \mu \in H_j,$$

тобто у визначений пункт до кожного моменту потреби необхідно подати один вагон або групу вагонів, а також після звільнення у визначеному пункті в кожний момент звільнення після розвантаження до наступного навантаження направляється не більш як один вагон або група вагонів.

Побудована модель відноситься до класу задач лінійного програмування з бульовими змінними.

Для застосування відомих алгоритмів потрібно спочатку перетворити чотирьохіндексну модель на двохіндексну. Із цією метою потрібно замінити пари індексів (i, λ) та (j, μ) двома індексами l і k за наступними формулами:

$$l = \lambda + \sum_{s=1}^{i-1} N_s; \quad k = \mu + \sum_{s=1}^{j-1} N_s,$$

де N_i та M_j – кількість елементів множин E_i та H_j відповідно.

Введемо заміну змінних $x_{ij\lambda\mu} = y_{lk}$ та позначимо крім того:

$$g_{ij\lambda\mu} + c_{ij} = b_{lk}; \quad \tau_{j\mu} + r_{ij} = a_{lk}; \quad T_{i\lambda} = u_l;$$

$$l = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, m;$$

$$\left(n = \sum_{i=1}^N N_i, m = \sum_{j=1}^M M_j \right).$$

Після цього математична модель може бути представлена в такому вигляді:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^m b_{lk} y_{lk} \Rightarrow \min;$$

$$\sum_{k=1}^m y_{lk} = 1; \quad l = 1, 2, \dots, n;$$

$$\sum_{l=1}^n y_{lk} \leq 1; \quad k = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{k=1}^m a_{lk} y_{lk} \leq u_l; \quad l = 1, 2, \dots, n.$$

За допомогою деяких перетворень цю модель можна звести до так званої «задачі про призначення» [1]. Для цього:

– по перше, якщо $m > n$, присвоїти b_{lk} значення Q , $(l = 1, 2, \dots, n, k = m + 1, m + 2, \dots, n)$;

– по друге, якщо $a_{lk} > u_l$, присвоїти b_{lk} значення Q , де Q – досить велике число, наприклад

$Q = \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^m b_{lk}$; у результаті одержимо квадратну матрицю елементів b_{lk} розміром $(n \times n)$.

Для «задачі про призначення» існують відомі алгоритми [1]. Але має сенс розробити спеціальний алгоритм, який дозволяв би у випадку потреби, крім тих обмежень, які описані в моделі, враховувати додаткові умови, наприклад, завершення деякого обсягу перевезень у певний час. У такому випадку доцільно мати алгоритм, який дозволяв би, крім оптимального плану, аналізувати деяку кількість допустимих планів, близьких до оптимального. Такий алгоритм можна побудувати на ідеях методу неявного перебору, при цьому прийняти до уваги, що допустимі плани знаходяться на множині перестановок з n елементів $\Pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$.

В алгоритмах, побудованих на ідеях методу неявного перебору, дуже важливим є вдалий вибір упорядкування елементів, що підлягають перебору, організація самої процедури перебору та процедури визначення оцінки плану. Суттєвим є те, щоб у процесі перебору два послідовні варіанти плану мінімально відрізнялися за структурою і щоб ця відмінність була в останніх елементах.

Пропонується наступна послідовність дій в алгоритмі.

Перша дія: Формування першого допустимого плану: $\pi_l = l; p_l = n - l + 1 (l = 1, 2, \dots, n)$;

$$L = \sum_{l=1}^n b_{l\pi_l}.$$

$$\text{Друга дія: } D_l = \sum_{r=l}^n \min(b_{r1}, b_{r2}, \dots, b_{rm}).$$

$$\text{Третя дія: } k = n - 1.$$

$$\text{Четверта дія: } p_k = p_k - 1.$$

П'ята дія: Якщо $p_k = 0$, переходимо до п'ятої дії; якщо $p_k \neq 0$, переходимо до восьмої дії.

Шоста дія: Якщо $p_{k-1} \neq 1$, проводимо циклічне зрушення $\pi_l (l = k, k + 1, \dots, n)$ за правилом $\pi = \pi_k, \pi_k = \pi_{k+1}, (k = 1, 2, \dots, n - 1), \pi_n = \pi$.

$$\text{Сьома дія: } p_k = n - k + 1.$$

Восьма дія: $k = k - 1$. Якщо $k > 0$, переходимо до третьої дії.

Дев'ята дія: Проводимо циклічне зрушення $\pi_l (l = k, k + 1, \dots, n)$ за правилом

$$\pi = \pi_k, \pi_k = \pi_{k+1}, (k = 1, 2, \dots, n - 1), \pi_n = \pi.$$

Десята дія: Якщо $\sum_{l=1}^n b_{l\pi_l} < L, L = \sum_{l=1}^n b_{l\pi_l}$, переходимо до дванадцятої дії, якщо $\sum_{l=1}^n b_{l\pi_l} \geq L$, переходимо до одинадцятої дії.

Одинадцята дія: Якщо $\sum_{l=1}^{n-k} b_{l\pi_l} + D_l \geq L$, переходимо до восьмої дії; якщо $\sum_{l=1}^{n-k} b_{l\pi_l} + D_l < L$, переходимо до дванадцятої дії.

Дванадцята дія: $k = k + 1$, переходимо до четвертої дії.

Після закінчення роботи алгоритму L – значення функції цілі, яке відповідає оптимальному плану. Для того, щоб одержати план, який відповідає цьому значенню функції, необхідно провести наступні дії з індексами.

Перша дія. $x_{ij\lambda\mu} = 0; i = 1, 2, \dots, N;$

$j = 1, 2, \dots, M; \lambda \in E_i; \mu \in H_j; l = 1.$

Друга дія: $i = 1, s = l$.

Третя дія: $s = s - N_i$.

Четверта дія: Якщо $s > 0, i = i + 1$, переходимо до третьої дії; якщо $s = 0, \lambda = \sum_{k=1}^i N_k$, переходимо до п'ятої дії; якщо $s < 0, \lambda = l - \sum_{k=1}^{i-1} N_k$, переходимо до п'ятої дії.

П'ята дія: $j = 1, s = \pi_l$.

Шоста дія: $s = s - M_j$.

Сьома дія: Якщо $s > 0, j = j + 1$, переходимо до шостої дії; якщо $s = 0, \mu = \sum_{k=1}^j M_k$, переходимо до восьмої дії, якщо $s < 0, \mu = \pi_l - \sum_{k=1}^{j-1} N_k$, переходимо до восьмої дії.

Восьма дія: $x_{ij\lambda\mu} = 1$.

Дев'ята дія: $l = l + 1$.

Десята дія: Якщо $l \leq n$, переходимо до другої дії, якщо $l > n$, оптимальний план сформований відповідно до $x_{ij\lambda\mu}$.

Перелік дій з індексами, який дозволяє повернутися від двохіндексної моделі до чотирьохіндексної, необхідно застосувати і в тому випадку, коли для одержання оптимального плану використовується один з відомих у літературі методів розв'язування задачі «про призначення» [1].

Побудована модель відповідає задачі в новій постановці, запропонований алгоритм ураховує особливості моделі і при відповідних сполученнях вихідних даних є більш ефективним для визначення раціонального плану розподілу порожніх вагонів під навантаження ніж відомі в науковій літературі.

Не зважаючи на те, що вибір порядку елементів (розташування по стрічках і стовпчиках матриці $[b_{lk}]$ відповідно до моментів потреби в порожніх вагонах і моментів звільнення вагонів) є природним, доцільно провести додаткове дослідження з метою відшукування більш ефективного правила вибору початкового порядку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969. – 382 с.
2. Крушевский А. В., Швецов К. И. Математическое программирование и моделирование в экономике. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 456 с.

3. Великодний В. В., Кириченко А. И., Скалозуб В. В., Цейтлин С. Ю. Оперативное оптимальное распределение потоков порожних вагонов на полигоне дирекции перевозок // Проблемы экономики транспорта: 2-я Международная научная конференция: Тез. докл. – Д., 2002. – С. 173–174.
4. Кукушкіна І. М., Новікова Н. Г. Планування перевезень на замкнутому полігоні // Математичне моделювання в інженерних і фінансово-економічних задачах: Зб. наук. пр. – Д.: Січ, 1998. – С. 5–8.

Надійшла до редколегії 22.09.03.

Т. Ф. МИХАЙЛОВА (ДІТ), О. В. ПІСКУНОВА, О. А. РЯДНО (ДФЕІ),
П. І. ПРИХОДЬКО (ДХК «Павлоградвугілля»)

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПО ТРАНСПОРТУВАННЮ ТА ПЕРЕРОБЦІ СИРОВИНИ

За допомогою математичної моделі лінійного програмування розглянута задача оптимізації затрат по переробці та транспортуванню вугільної сировини.

С помощью математической модели линейного программирования рассмотрена задача оптимизации затрат по переработке и транспортировке угольного сырья.

By means of a linear programming mathematical model, the cost optimization problem has been considered for coal raw material processing and transportation processes.

На сьогодні більшість підприємств вугільної промисловості збиткові, тому дуже актуальною є проблема підвищення фінансової ефективності функціонування таких підприємств. Один із шляхів вирішення цієї проблеми – це зниження витрат на виробництво продукції, серед яких, в першу чергу, можна оптимізувати витрати на транспортування та переробку рядового вугілля.

Задача оптимізації витрат, пов'язаних із переробкою сировини у продукти збагачення, вирішувалась на прикладі шахт ДХК «Павлоградвугілля». Нехай обсяг x_j^{r0} видобутку рядового вугілля на j -й шахті холдінгу є константою, що задано, причому частина x_j^r цього вугілля продається за ціною p_j^r рядового вугілля, а частина, яка залишається, направляється на виготовлення продуктів збагачення: $x_j^{r0} = x_j^r + x_j^k + x_j^e$ (x_j^k , x_j^e – відповідно обсяги вугілля, що направляється на виготовлення коксу та енергетичного вугілля). Позначимо через x_{ji}^k , x_{ji}^e обсяг вугілля, що здобуто на j -й шахті та направлено на переробку відповідно у кокс та енергетичне вугілля на i -ту збагачувальну фабрику. Тоді об'єм готової вугільної продукції, що залишається після переробки, дорівнює $\delta_{ji} x_{ji}^k$ (для коксу), $\delta_{ji} x_{ji}^e$ (для енергетичного вугілля), де $0 < \delta_{ji} < 1$ – коефіцієнт виходу.

Сформулюємо розглянуту проблему як транспортну задачу лінійного програмування. Потрібно знайти мінімум цільової функції

$$Z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (c_{ji}^T + c_{ji}^P + p_j^r - p_j^k \delta_{ji}) x_{ji}^k + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (c_{ji}^T + c_{ji}^P + p_j^r - p_j^e \delta_{ji}) x_{ji}^e$$

за таких обмежень:

$$\sum_{i=1}^n (x_{ji}^k + x_{ji}^e) \leq x_j^{r0}, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^m (x_{ji}^k + x_{ji}^e) \leq V_i^3, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \delta_{ji} x_{ji}^k \geq V^k, \quad \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \delta_{ji} x_{ji}^e \geq V^e,$$

де c_{ji}^T , c_{ji}^P – витрати j -ї шахти відповідно на транспортування та переробку сировини на i -й збагачувальній фабриці; p_j^k , p_j^e – ціни, за якими реалізується відповідно кокс та енергетичне вугілля j -ї шахти; V^k , V^e – мінімальні обсяги відповідно коксу та енергетичного вугілля, які повинні виготовити шахти холдінгу для народного господарства; V_i^3 – максимальний обсяг сировини, що може переробити i -та збагачувальна фабрика; m – кількість шахт холдінгу; n – кількість збагачувальних фабрик. Z – узагальнені витрати, до яких включені можливі збитки шахт холдінгу від переробки сировини внаслідок того, що ціна рядового вугілля може бути більшою, ніж узагальнена ціна коксу $\delta_{ji} p_j^k$ та енергетичного вугілля $\delta_{ji} p_j^e$.

Використовуючи симплекс метод, можна знайти оптимальні значення x_{ji}^k , x_{ji}^e , за яких витрати холдингу, пов'язані з переробкою сировини у продукти збагачення, будуть мінімальними.

Була розглянута та проаналізована програма економічного розвитку на 2003 рік десяти шахт, що входять до холдингу «Павлоградву-

гілля». На основі аналізу цих даних за допомогою математичного пакету MAPLE V була вирішена задача про розподіл вугільної сировини на переробку у продукти збагачення на шести основних збагачувальних фабриках регіону.

Результати реалізації алгоритму розв'язку задачі зведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Розподіл видобутого вугілля на переробку в продукти збагачення по шахтах ДХК «Павлоградвугілля»

Назва шахти	Добут. вугілля, тис. т		Ряд. вугілля, тис. т		Вугілля на ВГП, тис. т	Продукти збагачен., тис. т		Ціна ряд. вугіл., грн	
	кокс	енерг.	кокс	енерг.		кокс	енерг.	кокс	енерг.
Тернівська	0	900	0	93,6	6,4	58,2	544,4	0	86,8
Степова	1000	150	100 0	135,3	14,7	0	0	74,2	80,3
Ювілейна	920	100	920	83,7	10,3	0	4,4	73,3	81,7
Павлоградська	0	1130	0	223,5	6,5	61,1	519,2	0	82,1
Самарська	302	698	302	64,5	8,5	46,5	363,4	61,8	64,1
Дніпровська	0	1000	0	200,4	8,6	29	478,9	0	78,8
Ім. героїв космосу	0	1100	0	349,2	6,1	136,7	313,5	0	77,3
Зах.-Донбаська	502	598	317	78,3	9,5	87,2	361,1	68,9	71
Ім. Сташкова	500	550	500	41,2	8,8	0	326,3	60,7	64
Благодатна	0	750	0	125	4,5	26,9	375,5	0	76
Всього по холдингу	3224	6976	303 9	1395	83,9	445,6	3286,7		

Продовження табл. 1

Назва шахти	Ціна прод. збагач., грн		Все вугілля рядове, тис. грн	План, тис. грн	План затрати, тис. т	Затрати на перевезення, тис. т	Затрати на переробку, тис. т
	кокс	енерг.					
Тернівська	149,35	104,8	78147,0	73856	63184,25	6106	4566
Степова	0	0	86276,5	85096	85095,94	0	0
Ювілейна	0	105,7	75592,8	74727	74585,73	84	57
Павлоградська	149,35	111,0	92818,2	85094	73225,01	6559	5310
Самарська	152,28	106,9	63410,5	68753	59568,50	5471	3713
Дніпровська	149,34	109,7	78800,0	72639	59304,55	8875	4459
Ім. героїв космосу	149,34	104,4	84986,0	80114	75193,97	0	4920
Зах.-Донбаська	153,02	106,4	77005,9	79155	71061,73	3625	4468

Ім. Сташкова	0	143,6	65543,0	79850	78453,31	827	570
Благодатна	149,33	104,9	57000,0	52922	47142,95	2139	3640
Всього по холдингу			759579,9	752205	686815,93	33686	31703

Таблиця 2

Розподіл вугільної сировини на переробку по збагачувальних фабриках (тис. т)

Назва шахти	Збагачувальні фабрики					
	Павлоградська	Кураховська	Михайлівська	Стаханівська	Селідівська	Інші
Тернівська	80,0			20,0		502,6
Степова			1,4			
Ювілейна	8,0	0,5			1,5	
Павлоградська	455,0	95,0	21,0	151,0	0	236,0
Самарська						409,9
Дніпровська		85,0			15,0	407,9
Ім. героїв космосу	650,0			90,0	10,0	
Зах.-Донбаська	409,0	107,3	72,0			79,7
Ім. Сташкова						326,3
Благодатна	–	–	–	17,5	2,5	382,4

Запропонована математична модель може бути рекомендована для підприємств вугільної промисловості як оптимальна щодо величини затрат на транспортування та переробку сировини на збагачувальних фабриках.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Замков О. О., Толстопятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике. – М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, ДИС, 1997. – 368 с.
2. Кузнецов Ю. М., Кузубов В. И., Волощенко А. Б. Математическое программирование. – М.: Высшая школа, 1980. – 312 с.

Надійшла до редколегії 23.10.03.

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ НАПРАЦЮВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТЕД ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

У статті розглянутий один із варіантів визначення функції опірності ізоляції обмоток збудження ТЕД за значеннями зворотної напруги на основі згладжування функцій та теорії відновлення технічних об'єктів.

В статье рассмотрен один из вариантов определения функции сопротивляемости изоляции обмоток возбуждения ТЭД по значениям возвратного напряжения на основе сглаживания функций и теории восстановления технических объектов.

The article examines one of the options of determining the function of insulation resistance in tractive electric motor excitation windings, according to the values of reverse voltage, based on approximation of functions and the theory of technical objects recovery.

Теорія надійності – одна з наймолодших наукових дисциплін нашого часу, хоча багато основних її питань з'явилися вже давно і знаходили на практиці достатньо широке застосування. Те, нове, що приніс наш час значною мірою зводиться до свідомого виділення поняття надійності виробів і тих характеристик, що дозволяють об'єктивно описувати якість виробу, його пристосованість до тривалої безвідмовної роботи, а також кількісне порівняння досягнутої надійності з тією, що запроєктована або ж необхідна для нормальної експлуатації.

У природі не існують матеріали абсолютно однорідні та які не змінюють протягом часу свої властивості, тому не може бути й абсолютно надійності виробів. Такі зміни носять випадковий характер, що заздалегідь невизначений і непомітний для ока.

Відомо також і те, що згодом властивості виробу змінюються або, як говорять, він старіє, причому навіть не працюючи. Іноді непрацюючий виріб утрачає свої робочі властивості швидше, чим якби він нормально працював. Вивчення характеру старіння виробу, втрати його якостей у процесі експлуатації являє собою важливу задачу теорії надійності. Це особливо актуально для задачі прогнозу несправностей.

На сьогоднішній день задача прогнозування залишкового ресурсу ізоляції тягових електродвигунів (ТЕД) локомотивів однозначно не вирішена. Необхідна надійність ізоляції ТЕД забезпечується періодичним контролем і проведенням профілактичних ремонтів. Тривалість міжремонтних періодів не є оптимальною величиною, оскільки локомотивам дово-

диться працювати в різних умовах експлуатації [1].

Метою даної роботи є: визначення функції опірності ізоляції ТЕД по отриманих вимірах зворотної напруги, базуючись на теорії відновлення технічних об'єктів і теорії згладжування функцій; побудова інтегральної функції розподілу відмов ізоляції по побудованій функції опірності для виконання обчислювальних експериментів визначення оцінок залишкового ресурсу ізоляції.

За використані експериментальні дані для апроксимації функції зворотної напруги $U(x)$ взяті спостереження, описані в статті А. С. Серебрякова [2], стосовно тягового електродвигуна НБ-406. Функція зворотної напруги будується у вигляді

$$U(x) = \frac{C}{(t + \alpha)^m}. \quad (1)$$

Відповідно до спостережень [2], ізоляція обмотки ТЕД проходила відповідну обробку при напрацюваннях $x_1 = 525$ тис. км, $x_2 = 875$ тис. км і повне відновлення (заміна обмотки) відбулася при напрацюванні $x_3 = 1225$ тис. км. Нехай x напрацювання ТЕД, x_1 – напрацювання, що відповідає i -му відновленню, R_x^V – оператор відновлення, в якому V – обсяг відновлення в момент напрацювання x [3], тоді, застосувавши оператор відновлення до функції зворотної напруги $U(x)$, можна записати:

$$U(x, \gamma, x_1) = R_{x_1}^V U(x) = U(x - \gamma x_1), \dots, x \geq x_1,$$

$$R_{x_2}^V U(x, \gamma, x_1) = U(x - \gamma x_2), \dots, x \geq x_2$$

або

$$U(x, \gamma) = \begin{cases} U(0) = \frac{C}{\alpha^m}, \\ U(x_1) = \frac{C}{(x_1 + \alpha)^m}, \\ R_{x_1}^V U(x) \Big|_{x=x_1} = \frac{C}{(x_1 - \gamma x_1 + \alpha)^m}, \\ R_{x_1}^V U(x) \Big|_{x=x_2} = \frac{C}{(x_2 - \gamma x_1 + \alpha)^m}, \\ R_{x_2}^V U(x, \gamma, x_1) \Big|_{x=x_2} = \frac{C}{(x_2 - \gamma x_2 + \alpha)^m}, \\ R_{x_2}^V U(x, \gamma, x_2) \Big|_{x=x_3} = \frac{C}{(x_3 - \gamma x_2 + \alpha)^m}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} C > 0, \\ m > 0, \\ \alpha > 0, \\ 0 < \gamma < 1, \end{cases} \quad (4)$$

де $C > 0$, $\alpha > 0$, $m > 0$, $0 < \gamma < 1$.

Використовуючи значення зворотної напруги в початковий момент відновлення $U_0 = U(0) = 225V$ і в моменти відновлення x_1, x_2, x_3 до обробки ізоляції та після:

$$U_1 = U(x_1 - 0) = 155V,$$

$$U_2 = U(x_1 + 0) = 155V,$$

$$U_3 = U(x_2 - 0) = 95V,$$

$$U_4 = U(x_2 + 0) = 150V,$$

$$U_5 = U(x_3 - 0) = 20V,$$

де $(x_1 - 0)$ – означає значення зворотної напруги в момент відновлення; x_1 – до обробки ізоляції; $(x_1 + 0)$ – означає значення зворотної напруги після обробки ізоляції (відновлення) $i = 1, 2, 3$.

Складемо вираз відповідно методу найменших квадратів:

$$S^2 = \left(U_0 - \frac{C}{\alpha^m} \right)^2 + \left(U_1 - \frac{C}{(x_1 + \alpha)^m} \right)^2 + \left(U_2 - \frac{C}{(x_1 - \gamma x_2 + \alpha)^m} \right)^2 + \left(U_3 - \frac{C}{(x_2 - \gamma x_1 + \alpha)^m} \right)^2 + \left(U_4 - \frac{C}{(x_2 - \gamma x_2 + \alpha)^m} \right)^2 + \left(U_5 - \frac{C}{(x_3 - \gamma x_2 + \alpha)^m} \right)^2.$$

Мінімізувавши вираз (3) по аргументах C , α , m , при обмеженнях

отримаємо оптимальні значення параметрів C , α , m , γ . Підставивши знайдені значення для C , α , m у вираз (1), отримаємо шукану залежність для функції зворотної напруги. При вирішенні задачі (3)–(4) можна скористатися математичним пакетом Maple [4] або Matlab [5].

Оптимальним рішенням задачі (3)–(4) для отриманих даних на підставі проведених спостережень є: $\alpha = 874,1$, $C = 9245500$, $\gamma = 0,6549$, $m = 1,5683$, при цьому значення функції мети (3) складає $S^2 = 10178$. Апроксимуюча функція зворотної напруги має вигляд

$$U(x) = \left(\frac{9245500}{(x + 874,1)^{1,5683}} \right).$$

Таблиця 1

**Апроксимація досліджень зворотної напруги
ТЕД НБ-406**

Параметр	Оптимальне $m = 1,5683$	Фіксоване $m = 1$
α	874,4	523,5
C	9245500	117800
m	1,5683	
γ	0,6549	0,6582
Функція цілі S^2	10178	10874

При фіксованому значенні $m = 1$ отримано таке рішення: $\alpha = 523,5$, $\gamma = 0,6582$, $C = 117800$, значення функції мети (3) складає $S^2 = 10874$. Апроксимуюча функція зворотної напруги прийме вигляд

$$U(x) = \frac{117800}{x + 523,5}.$$

Інтегральна функція розподілу відмов ТЕД, що відповідає функції зворотної напруги $U(x)$, має вигляд

$$F_U(x) = \begin{cases} 0, & U(x) > b \\ \frac{b - U(x)}{b - a}, & a \leq U(x) \leq b, \\ 1, & U(x) < a \end{cases}$$

зміст величин a, b описаний вище. Реалізація випадкової величини t , розподіленої з інтегральною функцією розподілу $F_U(x)$, може бути отримана відповідно з виразів

$$t = -\alpha + \left[\frac{C}{b - \theta(b-a)} \right]^{\frac{1}{m}}$$

або

$$t = -\alpha + \frac{t_{\min} + \alpha}{\left\{ 1 - \theta \left[1 - \left(\frac{t_{\min}}{t_{\max}} \right)^m \right] \right\}^{\frac{1}{m}}},$$

де θ – випадкова величина розподілена по рівномірному закону в інтервалі $(0, 1)$.

При реалізації значень випадкової величини t варто брати позитивні значення.

Висновки

1. Функція опору пробою ізоляції обмотки ТЕД $\varphi(t)$ може мати вигляд

$$\varphi(t) = \frac{C}{(\alpha + t)^m},$$

де величини $C = \text{const}$ і $\alpha = \text{const}$ визначають властивості матеріалу ізоляції, t – напруження, m – позитивне дійсне число.

Якщо параметри C і α задані, то інтегральною функцією розподілу відмов ізоляції ТЕД, що відповідає побудованій функції опірності, є функція виду

$$F_0(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_{\min}; \\ 1 - \left(\frac{t_{\min} + \alpha}{t + \alpha} \right)^m, & t_{\min} \leq t \leq t_{\max}; \\ 1 - \left(\frac{t_{\min} + \alpha}{t_{\max} + \alpha} \right)^m, & t_{\min} \leq t \leq t_{\max}; \\ 1, & t > t_{\max}. \end{cases}$$

Надалі, базуючись на отриманих результатах, можлива побудова раціональної системи утримання ТЕД з урахуванням реальних умов експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Отчет по НИР: Аналіз технічного стану і розробка пропозицій з раціонального утримання локомотивів, № 32.28.02.03, № 0102U005869. – Д., ДПТ, 2003. – 114 с.
2. Серебряков А. С. Методы диагностики корпусной изоляции тяговых двигателей // Локомотив, 1998, № 12. – М., с. 24–25.
3. Босов А. А. Аксиоматическое построение математической теории восстановления // Вестник ХГУ, № 174. Прикладная математика и механика. Вып. 43, 1978. – С. 50–55.
4. Говорухин В. Н., Цибулин В. Г. Введение в Maple V. Математический пакет для всех. – М.: Мир, 1997.
5. Потемкин В. Г. Система инженерных и научных расчетов Matlab 5.x. в 2-х т. – М.: Диалог – МИФИ, 1999.

Надійшла до редколегії 08.10.03.

И. Е. ЛЕВИЦКИЙ (Управление Одесской железной дороги)

РАСЧЕТ ТАРИФА ЗА УСКОРЕННУЮ ДОСТАВКУ ГРУЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Железнодорожный транспорт как производитель широкого круга логистических услуг предлагает рынку ускоренную доставку груза или перевозку с дифференцированным сроком доставки.

Залізничний транспорт як виробник широкого кола логістичних послуг пропонує ринку прискорену доставку вантажу або перевезення з диференційованим строком доставки.

Railway transport, as a producer of a wide range of logistic services, offers the transport services market delivery of freights at a shortened time or transportation services with differentiated periods of delivery.

Вступление

Железные дороги Украины представляют собой мощную транспортную систему, которая занимает по размерам, объемам перевозочной работы и уровню применения технических средств второе место после России среди всех независимых государств, которые образованы на территории бывшего Союза. Усматривая то, что железные дороги Украины являются основным звеном, которое объединяет Украину с Россией, республиками Кавказа, Западной и центральной Европы, международная транспортная система Украины и действующая система перевозок в условиях перестройки экономики требуют принципиальных перемен с целью обеспечения высокой скорости движения поездов и сокращения времени доставки грузов и пассажиров. Значительное отставание Украины в таких вопросах как высокоскоростные перевозки, информация, сервис и современные методы решения этих проблем на будущее может привести к оттоку клиентов, и, в свою очередь, к снижению объемов перевозок и уменьшению прибыли [1].

Скорость перевозок – главная цель транспортной политики, которая успешно решается странами Западной Европы. Ориентация на введение скоростного движения на дорогах Украины укрепилась после разработки Концепции развития транспорта Украины на 1997–2010 гг. Повышение скорости движения поездов – это сложная проблема, которая требует комплексного, гармоничного развития всех компонентов: вагонного и локомотивного парков, инфраструктуры пути, системы централизации, автоблокировки, энергоснабжения и соответственно больших капитальных вложений [2].

Исследования показывают [3], что 85–95 % общей продолжительности логистической цепи производственного цикла товародвижения составляет ожидание обработки, транспортировки и других операций, включая нахождение на складах. Поэтому сокращение простоев и времени ожидания, возможность создания непрерывного производства может дать заметный экономический эффект.

Постановка задачи

В настоящее время транспортные предприятия претерпевают большие изменения. Они ориентируются не только на организацию непосредственно грузовых перевозок, но и по праву рассматриваются как составные части общего процесса движения грузов. Транспорт все чаще берёт на себя не только чисто транспортные функции, он перестаёт быть обособленной отраслью экономики, продающей только услуги по перемещению продукции, а выступает как производитель широкого круга логистических услуг, готовый осуществлять комплексное транспортно-экспедиционное обслуживание.

Рамки условий этой концепции позволяют предложить на рынок транспортных услуг новый уровень сервиса – ускоренную доставку груза (или перевозку с дифференцированным сроком доставки).

Результат

Решение поставленной задачи покажем на примере перевозки груза на полигоне смежных железных дорог: Приднепровской (станция отправления Кайдакская) и Одесской (станция назначения Шабо). К перевозке предлагается повагонная отправка, груз – прокат черных металлов. Согласно плану формирования груз

следует от станции Кайдакская (К) в составах вывозных поездов до станции Нижнеднепровск-Узел (НДУ). После переработки на станции НДУ, в составе сквозного поезда следует назначением до станции Знаменка с остановкой на станции Пятихатки-Стыковая для выполнения технологических операций по обработке поезда при передаче с дороги на дорогу и временем ожидания отправления, которое всецело зависит от четкого взаимодействия работы станции и прилегающих участков. Со станции Знаменка, отправка попадает в накопление назначением на станцию Одесса-Застава I. После расформирования, накопления, формирования, обработки – отправляется в составе трехгруппного поезда, назначением на станцию Арцыз. На станции Белгород-Днестровский (Б-Д) осуществляется отцепка группы вагонов, в составе которой имеются вагоны назначением на станцию Шабо. После обработки на станции Б-Д маневровым порядком доставляется на станцию Шабо.

Весь путь следования от ст. К до ст. Ш разбит на участки, так называемые технологи-

ческие фазы, где производятся те или другие характерные для этой фазы операции. Если учесть значения временных параметров на всех фазах перевозки, при следовании повагонной отправки согласно плану формирования, то технологическое время доставки груза будет равно сумме всех этих времен. Однако, как показывают исследования, эти времена по фазам не являются постоянными, а носят случайный характер.

Из общего времени следования отправки со станции К до станции Ш большая часть времени расходуется на технологические простои на грузовых станциях (начальной и конечной), технических и стыковых, и продолжительность этих времён является величиной случайной. Так, установленные простои местного вагона технологическое ($T_{м\text{техн}}$) и фактическое ($T_{м\text{факт}}$), простой транзитного вагона с переработкой ($T_{сп}$) и без переработки ($T_{б/п}$) на технических станциях, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры функций распределения простоя отправок на технических станциях

Наименование фазы, станция	$T_{м\text{техн}}$	$T_{м\text{техн}}$	$T_{сп}$	$T_{б/п}$	M	σ	D
Кайдакская	22,0	15,4			17,743	3,959	15,677
Нижнеднепровск-Узел			11,0/11,6		14,741	5,360	28,732
Пятихатки-Стыковая				1,0/1,7	1,720	1,165	1,356
Знаменка			12,0/11,6	1,9/1,7	16,440	5,230	27,355
Одесса-Застава I			14,0/14,0	4,8/5,0	14,477	5,818	33,849
Белгород-Днестровский			14,5/16,2	3,5/3,4	-	-	-
Шабо	29,1	37,0					

Полное описание случайных величин времени простоя отправок на перечисленных станциях дают законы распределения, т. е. соотношения, устанавливающие связь между возможными их значениями и соответствующими им вероятностями.

Законы распределения дискретных случайных величин обычно задаются таблицами:

$$X_i; X_1; X_2; X_3; \dots X_n;$$

$$P_i; P_1; P_2; P_3; \dots P_n.$$

Такая таблица называется рядом распределений случайной величины X . При этом

$\sum_{i=1}^m P_i = 1$, где суммирование распространяется на все множество возможных значений данной случайной величины.

Установлены функции распределения $F(x)$ этих случайных величин, а также их основные параметры, значения которых приведены в табл. 1.

Перегонные времена хода по участкам тоже являются величинами случайными, однако, как показывает анализ, среднее значение времени хода между техническими станциями, объединяющими в себе несколько участков с различными временами хода, имеет незначительные

отклонения в ту и другую стороны. Практически, при отправлении с технических станций поездов (согласно плану формирования) по сквозным ниткам графика – графиковая скорость выполняется, а при других случаях – выполняется фактическая скорость, установленная по отчетным данным дорог, что и принято при моделировании.

При установленных зависимостях (табл. 1) значений составляющих срок доставки, а также принятых «констант» произведено моделирование процесса доставки.

Массив выходных данных по результатам моделирования сгруппирован в разряды и установлен закон распределения (рис. 1). Как видно из рис. 1, интервал срока доставки имеет лог-нормальное распределение с параметрами: $M = 168,014$; $\sigma = 35,264$; $D = 1243,577$; Процесс статистического моделирования сводится к необходимости повторения опытов до получения результатов с требуемой достоверностью.

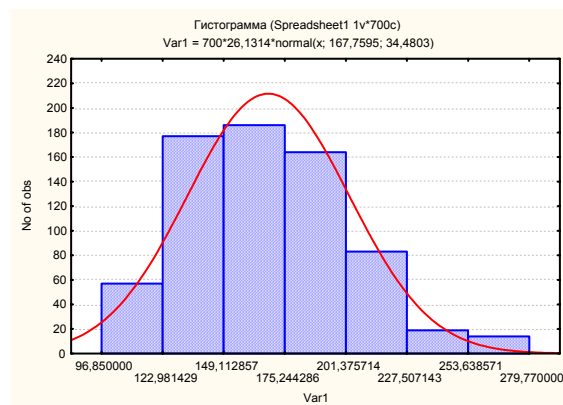


Рис. 1. Статистическое распределение срока доставки груза

По общему времени доставки и затратам времени в каждой фазе выполняется анализ на предмет сокращения времени пребывания отправки в той или иной фазе, с применением заранее разработанных мероприятий (табл. 2).

Таблица 2

Перечень дополнительных мероприятий, способствующих ускорению доставки грузов

Наименование мероприятий
Использование маневрового тепловоза в качестве поездного, одиночного пробега
Использование поездного локомотива в поездном движении
Использование маневрового локомотива в поездном движении
Использование маневрового локомотива в маневровом передвижении
Изменение схемы формирования составов поездов
Изменение плана формирования группового поезда на направлении
Оперативное регулирование движением поездов на участке, исключая дополнительные (не запланированные) остановки
Организация движения поездов «под зеленый»
Четкое взаимодействие работы станций, стыковых пунктов и прилегающих участков
Информационное обеспечение «задания» на маршрутное следование груза

Эти величины являются исходными данными для решения второй задачи – задачи векторной оптимизации сокращения срока доставки груза.

Первым шагом решения этой задачи является сокращение перебора количества вариантов. Для достижения этого предлагается решение с применением метода Лагранжа, с помощью которого определяется огибающая несравнимых вариантов по затратам средств и времени (рис. 2).

На основании этих огибающих строится интегральная кривая зависимости времени сокра-

щения доставки груза от стоимости этих сокращений (рис. 3).

Так, для принятого варианта перевозки определены соответствующие мероприятия для каждой фазы, установлены возможные временные сокращения (T) и дополнительные затраты (C) на их выполнение (табл. 3).

Кроме этого, на печать можно выдавать различные варианты сроков доставки груза (табл. 3) дифференцированных по времени.

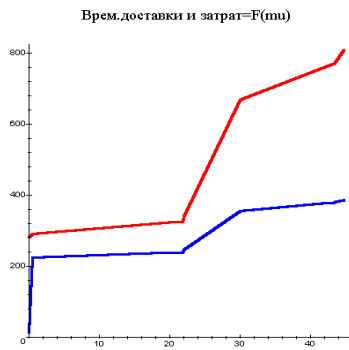


Рис. 2. Огибающие несравнимых вариантов по затратам средств и времени

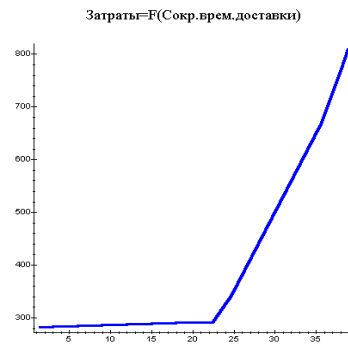


Рис. 3. Зависимость стоимости от сокращения сроков доставки

Таблица 3

Матрица принятых сокращений времен пребывания отправок в соответствующих фазах и их денежная оценка

T :=	[.6 .6 2.45 .08]	[59.16 106.52 104.1 1.39]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 .19 .08 0]	[47.16 33.73 1.39 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.5 .25 11.2 0]	[21.25 10.62 338.35 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 .7 0 0]	[50 124.28 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 .08 0 0]	[50 14.2 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.72 .08 0 0]	[62.98 1.39 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 1.15 0 0]	[56.76 327.73 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.5 10.1 .08 0]	[20.29 6.16 1.55 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 1.5 0 0]	[56.76 427.48 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.7 .08 0 0]	[15.17 1.55 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 1.23 0 0]	[56.76 350.53 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[1.7 .08 0 0]	[36.85 1.55 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 .046 0 0]	[56.76 13.1 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.5 .25 .08 0]	[20.29 40.58 1.55 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 .94 .08 0]	[56.76 267.89 1.55 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.5 11.06 .08 0]	[20.29 6.75 1.55 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.05 0 0 0]	[9.25 0 0 0]
	[. . .]	[. . .]
	[.5 .08 0 0]	[20.29 1.55 0 0]

Варианты решения

Номера элементов по фазам	$K_{\text{Л}}$	C_t	$\Delta t_{\text{час}}$
[4, 3, 2, 1, 2, 2, 1, 3, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 3, 3, 1, 2]	0,01	282,47	1,426
[4, 3, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 3, 2, 1, 2]	0,51	292,28	22,426
[4, 3, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 2]	21,81	327,58	24,046
[4, 3, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 2]	22,01	341,20	24,666
[4, 3, 3, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 2]	30,01	668,93	35,616
[3, 3, 3, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 2]	43,41	771,64	37,986
[3, 3, 3, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 3, 2, 1, 1]	44,71	809,12	38,826

$K_{\text{Л}}$ – коэффициент Логранжа;

C_t – стоимость сокращения времени доставки;

$\Delta t_{\text{час}}$ – время сокращения срока доставки (час).

Выводы

В связи с вышеизложенным вопрос о времени доставки определяет заказчик по своему желанию и по своим финансовым возможностям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирпа Г. М. Проблеми інвестування комерціалізації залізниць України при переході до ринкової економіки. Вісник ХНУ № 512, 2001.
2. Проект национальной программы развития и совершенствования транспортно-дорожного

комплекса Украины до 2005 г. с. 18. Концепция развития транспорта Украины на 1997–2010 гг. с. 25. Министерство транспорта Украины № 2/21-3-1428 от 14.11.1997.

3. Резер С. М. Логистика экспедирования грузовых перевозок ВИНТИ РАН. – М., 2002. – С. 468.
4. Левицкий И. Е., Босов А. А., Цегельник Н. Л. Стимулирование железных дорог на выполнение сроков доставки // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 1. – С. 17–21.

Поступила в редколлегию 29.10.03.

А. Л. ПУЛАРІЯ, О. В. ШАТУНОВ, М. А. ГРІЧАНИЙ (ДІПТ)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛАСТОМЕРНИХ ПОГЛИНАЮЧИХ АПАРАТІВ ТИПУ ЕПУ-2, ВСТАНОВЛЕНИХ НА ВАГОНАХ ШВИДКІСНОГО ПОЇЗДА

За результатами експлуатаційних випробувань та випробувань на зіткнення проведена оцінка можливості використання еластомерних поглинаючих апаратів на вітчизняних швидкісних пасажирських вагонах.

По результатам эксплуатационных и ударных испытаний проведена оценка возможности применения эластомерных поглощающих аппаратов на отечественных скоростных пассажирских вагонах.

Based on the results of operational and striking tests, an estimation of the possibility of applying elastomeric absorbing devices in Ukrainian high-speed passenger cars has been performed.

Одним з найбільш важливих напрямків збереження та підтримки працездатності рухомого складу залізниць під час його експлуатації є зменшення рівня подовжніх зусиль, діючих в поїзді. Тому розробка нових високоефективних поглинаючих апаратів була та залишається однією із найважливіших та актуальних.

Створення швидкісного рухомого складу викликало необхідність розробки нових типів поглинаючих апаратів, які мали би наступні властивості: підвищену енергоємність (35...50 кДж), великий коефіцієнт безповоротного поглиненої енергії (0,5...0,7) та стабільну силову характеристику роботи.

Не слід також забувати, що поглинальні апарати пасажирських вагонів повинні мати силову характеристику, яка би забезпечувала (м'яку) роботу на початку стиснення, що відповідає перехідним режимам руху поїздів, та велику енергоємність на заключній фазі стиснення, що дозволяє згасити енергію зіткнення в екстремальних випадках. Крім того, на відміну від вантажних, на пасажирських вагонах, окрім автозчепного пристрою, обов'язково ставлять буферні прилади. Разом з перехідною пружною площадкою буфери забезпечують зусилля початкового розпору між кожною парою зчеплених пасажирських вагонів. Завдяки цьому пасажирський поїзд не має відкритих зазорів у зчепних приладах, що у свою чергу забезпечує плавність зрушення з місця та сприяє іншим перехідним процесам.

Зусилля початкового міжвагонного розпору у вітчизняних вагонів в середньому досить низькі – 8,7 кН (при повному стиску – 17,8 кН). Тому роль поглинаючих апаратів в амортизації позовжніх сил розтягнення та стискання у поїзді є основною.

На даний час у вітчизняній практиці та у країнах СНД використовують наступні типи поглинаючих апаратів пасажирських вагонів:

– пружинно-фрикційний апарат ЦНИИ-Н6, який має хід 70 мм, енергоємність 15...24 кДж при коефіцієнті безповоротного поглиненої енергії 0,3; цей апарат має високу металоємність, нестабільний у роботі та застарів морально;

– гумово-металевий апарат Р-2П з ходом 70 мм, енергоємністю 20...25 кДж, коефіцієнтом поглинання 0,35; його недоліки пов'язані як з високими силами зворотного ходу (через недостатнє поглинання енергії), так і з малим строком служби – близько чотирьох років (що викликано полімеризацією гуми);

– гумово-металевий апарат Р-5П (ставиться на нових вагонах побудованих у Росії) з ходом 80 мм, енергоємністю 40...50 кДж та коефіцієнтом поглинання 0,35; він має перевагу щодо енергоємності, але такі ж недоліки, як і Р-2П.

Для України суттєвим фактором є відсутність виробництва високоякісних гум, що могли б використовуватись у поглинаючих апаратах. Тому апарати Р-2П та Р-5П доводиться закупати за кордоном.

В останнє десятиріччя був створений новий робочий матеріал для поглинаючих апаратів – еластомер. Його основна відмінність від інших колоїдних рідин полягає у здатності пружно стискуватись під навантаженнями, що дає незаперечні переваги для створення амортизаторів з високою енергоємністю та безповоротним поглинанням енергії. Окрім того, еластомер довгий час залишається хімічно стійким і не змінює своїх якостей у широкому діапазоні зміни температур. Тому еластомерні амортизатори для поглинаючих апаратів вважаються перспективними і відповідають світовому рівню.

Польською фірмою «КАМАХ» за технічними вимогами Укрзалізниці вперше спроектовані та виготовлені дослідні зразки еластомерних поглинаючих апаратів типу ЕПУ-2 (еластомерний польсько-український, другий варіант) для пасажирських вагонів [1]. У цьому апараті послідовно встановлені еластомерний амортизатор та комплект тарільчатих пружин (рис. 1). За своїми розмірами апарат ЕПУ-2 взаємозамінний з іншими типами апаратів (ЦНИИ-Н6 та Р-2П).

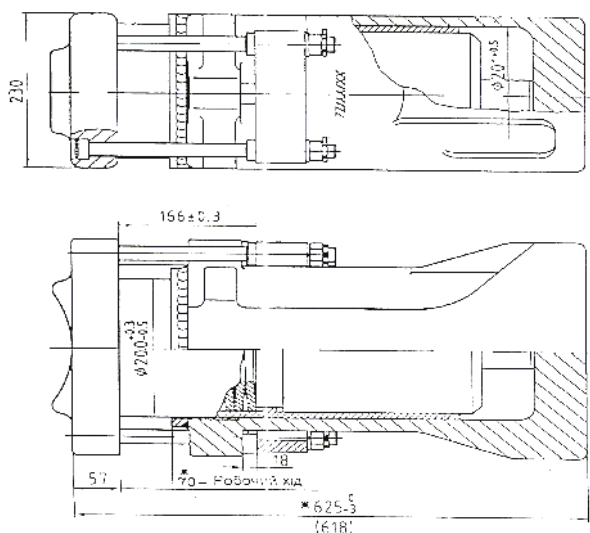


Рис. 1

З урахуванням вищезгаданого було запропоновано використати еластомерні апарати в швидкісному поїзді побудови АТ «Кременчуцький вагонобудівний завод», що викликало необхідність обґрунтування та проведення ряду теоретичних та практичних досліджень.

Одним з цих досліджень є ударні випробування та оцінка впливу еластомерного поглинаючого апарата на прискорення та напружений стан елементів кузова пасажирського вагона при навантаженні подовжніми силами.

Випробування вагона проводилися на АТ «Кременчуцький вагонобудівний завод» з використанням вагона-бойка на двох розташованих поруч коліях. На одній колії був встановлений дослідний вагон, підпертий сьома завантаженими вагонами, вагон-бойок і маневровий локомотив. При цьому два головних вагона стінки були загальмовані гальмівними башмаками. На другій колії було розміщено вагон-лабораторію. Первинні датчики, розміщені на дослідному вагоні, з'єднувалися комутаційними ланцюгами з реєструючою апаратурою, встановленою у вагоні-лабораторії.

Динамічні процеси реєструвалися первинними датчиками, встановленими на вагоні.

У результаті комп'ютерного аналізу випробувань були побудовані залежності сил, переміщень, прискорень і напружень від швидкості співударів вагона-бойка з дослідним пасажирським вагоном. Дослідний вагон був постійно підпертий, тому що всі динамічні показники при ударах у підпертий вагон мають більші значення, ніж при ударах у вільно розташований вагон.

Графік залежності сили співударів від швидкості показаний на рис. 2. Як видно з графіка, максимальна сила, отримана при співударах під час випробувань, досягла 1,6 МН при швидкості співудару 9,6 км/год. В інтервалі швидкостей співударів 2,3...9,6 км/год просліджується практично лінійна залежність сили удару від швидкості. Це пов'язано з високою амортизаційною якістю поглинаючих апаратів ЕПУ-2. Шляхом інтерполяції цих даних, отримана очікувана швидкість співударів $V_H \approx 15,84$ км/год, при якій сила досягне нормативного значення – 2,5 МН. Надалі, виходячи з отриманої швидкості, були розраховані нормативні значення інших характеристик (напружень та прискорень) дослідного вагона.

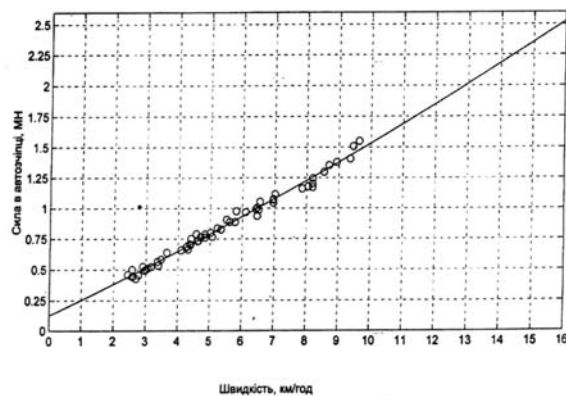
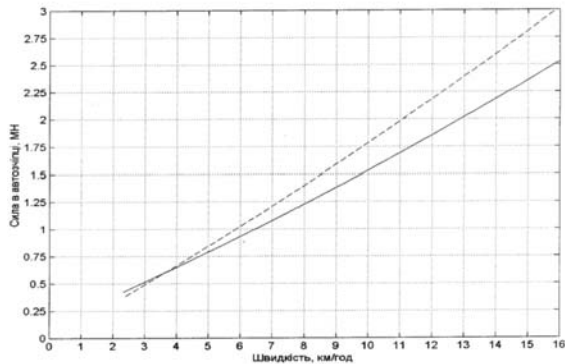


Рис. 2

Отриманий рівень сил можна порівняти з результатами випробувань нового пасажирського вагона моделі 61-4177 з гумово-металевим поглинаючим апаратом Р5-П (рис. 3). Для вагона-прототипу очікувана швидкість, при якій з'являться нормативні зусилля у 2,5 МН, склала $V_H \approx 13,5$ км/год, що в 1,47 рази менше, ніж для дослідного вагона.

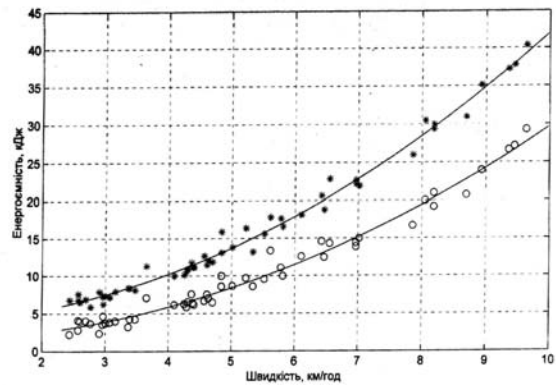


- ЕПУ-2 - - Р5-П

Рис. 3

Гальмівні випробування швидкісного поїзда (Київ–Харків) з восьми вагонів підтвердили, що у цьому режимі апарати ефективно поглинають енергію. Прискорення у кузовах вагонів не перевищили $(0,11...0,2)g$, що не порушує комфорту пасажирів. Найбільші сили в автозчипці при перехідних режимах руху не перевищували 10 % від максимально допустимих [2; 3].

Як висновок можливо сказати, що проведені випробування еластомерних поглинаючих апаратів типу ЕПУ-2 в складі швидкісного поїзду показали, що їх перевагою є забезпечення плавності ходу пасажирського поїзда при перехідних режимах руху та під час зрушення з місця. Це досягається за рахунок великої енергоємності та безповоротно поглиненої енергії 56...70 % від його енергоємності (рис. 4).



* - енергоємність апарата ⁰ - безповоротно поглинена енергія

Рис. 4

Тому встановлення поглинаючих апаратів ЕПУ-2 на вітчизняні пасажирські вагони, які призначені для швидкісного руху, є необхідним заходом, який забезпечить потрібну безпеку руху та пасажирів при можливих аварійних ситуаціях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пуларія А. Л., Соборницька В. В., Грічний М. А. Дослідження роботи еластомерних поглинаючих апаратів типу ЕПУ-2 і Р-2П. // Транспорт. – Д., 2002. – С. 32–34. (36. наук. пр. ДІТ).
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ, 1996. – 317 с.
3. РД 24.050.37.95. Вагоны пассажирские и грузовые. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М.: ГосНИИВ, 1995. – 101 с.

Надійшла до редколегії 27.10.03.

А. М. БОНДАРЕВ (ДИИТ)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕСА ПОЕЗДА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

В статье приведены результаты теоретических расчетов аварийных режимов коротких замыканий в цепях питания статорных обмоток асинхронных тяговых двигателей при троганиях с места локомотива с составом грузового поезда

У статті наведено результати теоретичних розрахунків режимів коротких замикань у колах живлення статорних обмоток асинхронних тягових двигунів при зрушеннях з місця локомотива зі складом вантажного поїзда.

The article provides the results of theoretical calculations of short circuit emergency operation modes in supply circuits of the stator windings of asynchronous tractive motors at start-up of the locomotive, hauling a freight train.

Хорошие тягово-энергетические показатели и надежная работа локомотива в значительной мере определяются соответствующими показателями и характеристиками тягового привода. Наиболее надежным и экономичным в эксплуатации, а также наименее материалоемким среди тяговых двигателей является асинхронный тяговый двигатель (АТД). Отметим, что на всех новых локомотивах, предназначенных для магистральных железных дорог в разных государствах мира, устанавливаются асинхронные тяговые двигатели. Преимущества АТД в сравнении с коллекторными тяговыми двигателями отмечается в ряде работ [1; 2]. Вместе с этим следует иметь в виду, что при разработке тяговых приводов с использованием АТД необходимо учитывать и особые ситуации, которые являются нештатными – это аварийные режимы трех- или двухфазных коротких замыканий в цепях питания статорных обмоток.

Аналізу динамічної навантаженості елементів тягового привода при коротких замиканнях в цепях живлення статорних обмоток присвячені роботи [1–4]. В цих роботах аналізувалась навантаженість при двух- і трехфазних коротких замиканнях, оцінювалось вплив стану фаз живлячих обмоток перед моментом короткого замикання на рівень динамічної навантаженості. Розглядалися також різні види тягових приводів (груповий, приводи першого і другого класу) [2]. Розглядалась задача про навантаженість тягового привода при троганні локомотива з складом поїзда [2]. Однак ця задача вирішувалась в упрощеній постановці і не враховува-

лись при перехідних режимах руху коливання рам тележок і кузова локомотива.

В даній роботі аналізується динамічна навантаженість елементів асинхронного тягового привода в аварійних режимах трехфазних коротких замикань при троганні грузопассажирського електровоза з складом вагонів грузового поїзда вагою 3400 т. Такий вага, з економічної точки зору, на деяких дорогах виявляється найбільш раціональним.

Численні розрахунки проводились на основі розробленої розрахункової схеми, математичної моделі і програми, що дозволяють моделювати перехідні режими руху при троганні з місця з складом вагонів грузового поїзда односекційного чотирьохосного електровоза з асинхронними тяговими двигателями.

При цьому було виділено:

а) в механічній частині з використанням симетрії системи – кузов; рама тележки; два статора і ротора АТД; два торсіонних вала; чотири зубчасті муфти; два корпуси тягових редукторів і дві шестерні; дві колесні пари, розділені на дві частини; склад вагонів грузового поїзда, які об'єднуються в одну масу по мірі вибору зазорів в міжвагонних з'єднаннях при троганні локомотива з місця.

б) в електричній частині – два АТД.

В розробленій математичній моделі, описуючій положення кожного елемента механічної частини, розглядаються: крутильні коливання; продольні коливання; коливання підпрыгивання і галопування, совер-

шаемые в продольной плоскости симметрии. В электрической части привода процессы описываются так, как это принято в асинхронных электрических машинах, имеющих три пары полюсов и по три статорных и роторных обмоток. Роторы АД выполнены в виде беличьих клеток. При определении токов и потокоцеплений рассматривалась система координат α, β, γ – неподвижных относительно обмоток статора [1–4]. В такой системе координат не возникает необходимость на каждом шаге интегрирования обращать матрицу параметров схемы замещения и связи между токами и потокоцеплениями. Электромагнитные моменты тяговых двигателей T_{emi} в такой модели являются функциями параметров схемы замещения [1–4] $L_{mi}, L_{ri}, L_{si}, R_{ri}, R_{si}$, а также токов статорных и роторных обмоток I_{si}, I_{ri} . Статорные обмотки АД запитываются от автономных инверторов напряжений (АИН). Формируемые системами управления (преобразователями частоты) фазные напряжения питания статорных обмоток u_i представляют собой последовательность импульсов с переменными амплитудой, частотой и полярностью. При скоростях движения $0 < v < 62$ км/ч применяют широтно–импульсную модуляцию.

Для такой электромеханической системы, на основании известных соотношений механики и электромеханики, была разработана математическая модель, состоящая из 54 дифференциальных уравнений и соответствующих уравнений определения перемещений, скоростей и усилий в соединениях тел механической части, а также токов, потокоцеплений и электромагнитных моментов в электрической части.

Расчеты процессов, возникающих в электромеханической системе, проводились следующим образом. При нулевых начальных условиях рассматриваемой системы дифференциальных уравнений в математическую модель электрической части начинают задаваться фазные напряжения u_i . Эти напряжения являются функциями, у которых изменяются частота и амплитуда. В расчетах принималось, что интенсивность разгона локомотива и поезда можно регулировать изменением частоты, и таким образом предопределять нарастание амплитуды напряжений питания и значений скольжения. Также было принято, что частота напряжений питания статорных обмоток изменялась по экспоненциальному закону $f = f_{\max} (1 - \exp(-\gamma t))$. Расчеты показали, что

существенного снижения вибраций тягового двигателя и других элементов механической части при троганиях локомотива с места с составом вагонов поезда с места можно добиться, если системы управления обеспечивают его разгон при значениях $\gamma \geq 3$. В связи с этим расчеты проводились при значениях $\gamma = 3$. Спустя некоторое время после начала интегрирования системы дифференциальных уравнений фазные напряжения полагались равными нулю, что эквивалентно короткому замыканию (при этом фиксировалось число вагонов состава поезда, которые пришли в движение). В расчетах параметры электрической и механической частей принимались такими же, как это было принято в работе [4] и соответствовали параметрам электровоза ДСЗ. В табл. приведены результаты расчетов аварийных трехфазных коротких замыканий, возникающих после трогания электровоза с составом вагонов грузового поезда через 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 22,0 с. При этом в движение включалось 4, 9, 15, 20, 40 груженых вагонов, что соответствовало весу поезда 340, 765, 1275, 1700 и 3400 т.

Таблица

Значения ускорений, моментов и усилий в элементах тягового привода

Величина	Время кз, с				
	0,5	1,0	1,5	2,0	22,0
$\dot{\omega}_{\text{фк}}, \text{с}^{-2}$	1,6	1,7	2,0	2,1	5,1
	–0,6	–1,7	–1,3	–1,2	–0,8
	2,0	0,4	1,3	1,4	4,9
$\ddot{y}_{\text{одел}}, \text{М/с}^2$	10,0	16,6	16,0	20,5	29,6
	–2	–3,8	6,0	13,5	8,9
	11,0	5,3	4,6	3,0	5,0
$\dot{\omega}_{\text{фдел}}, \text{с}^{-2}$	–8	8,8	–8,9	10,8	8,9
	10,0	–2,8	–4,0	–7,7	2,2
	3,0	6,4	3,7	2,0	6,5
$\dot{\omega}_{\text{пред}}, \text{с}^{-2}$	14,0	18,8	20,9	20,0	36,3
	–12,0	–7,9	–9,2	–6,0	15,5
	2,5	3,6	3,3	5,0	5,0
$T_{em1}, \text{кНм}$	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	9,2	10,0	7,7	7,4	13,0
	3,4	3,2	4,3	4,0	3,2
$T_{m11}, \text{кНм}$	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	10,0	9,3	8,5	7,7	13,0
	3,3	3,9	4,5	4,3	3,2
$F_{нТ}, \text{кН}$	10,4	80,8	92,3	103,8	144,0
	7,0	80,8	80,8	34,6	–22,2
	11,4	0,7	0,3	2,2	2,5
$F_{зп11}, \text{кН}$	126,9	111,0	115,0	114,0	110,0
	103,8	80,8	57,7	76,9	110,0
	1,7	1,3	0,8	1,6	1,4

В данной табл. в первом столбце приведены обозначения вычисляемых в результате интегрирования системы дифференциальных уравнений: ускорений ($\dot{\omega}_{\text{фк}}$ – галопирования кузова; $\dot{\omega}_{\text{Zob1}}$ – подпрыгивания двигателя; $\dot{\omega}_{\text{фоб1}}$, $\dot{\omega}_{\text{фред1}}$ – вращательных колебаний относительно горизонтальной поперечной оси двигателя и редуктора); электромагнитного момента $T_{\text{ем1}}$ и момента $T_{\text{м11}}$ в зубчатой муфте, соединяющей ротор и торсионный вал; усилий в наклонной тяге $F_{\text{нТ}}$ и в зубчатой передаче $F_{\text{зм11}}$. В остальных столбцах в первой строке указаны наибольшие значения соответствующих величин, во второй строке – значения соответствующих величин перед моментом короткого замыкания и в третьей строке – значения коэффициентов динамичности. Коэффициенты динамичности определялись как отношения значений величин после короткого замыкания к соответствующим значениям, предшествующим короткому замыканию.

Анализ полученных результатов показал, что значения коэффициентов динамичности для электромагнитного момента $T_{\text{ем1}}$ и момента в зубчатой муфте $T_{\text{м11}}$ оказались примерно на 25 % выше тех величин, которые были получены при проведении аналогичных расчетов в предположении, что на соответствующей скорости режим движения установившийся. В остальных элементах значения коэффициентов динамичности в значительной мере зависят от

состояния системы перед короткими замыканиями. Таким образом, при оценке динамической нагруженности элементов тягового привода локомотива необходимо учитывать переходные режимы движения и моделировать аварийные режимы коротких замыканий на малых скоростях при его троганиях с места с составом поезда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурков А. Г. Анализ режимов автономных инверторов напряжений локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями методом цифрового динамического моделирования. Полупроводниковая техника в устройствах электрических железных дорог. – Л.: ЛИИЖТ, 1978. – С. 11–54.
2. Манашкин Л. А., Бондарев А. М., Грановская Н. И. и др. Исследование динамической нагруженности асинхронных тяговых приводов локомотивов при трогании поезда с места // Динамика и прочность железнодорожных экипажей: Межвуз. сб. научн. тр. – Д., 1999. – С. 71–79.
3. Манашкин Л. А., Бондарев А. М., Грановская Н. И. Расчет динамических нагрузок в асинхронном тяговом приводе при коротком замыкании обмоток статора // Вестник ВНИИЖТ. – 1988. – С. 21–25.
4. Бондарев О. М. Вільні коливання при передачі обертового моменту в асинхронному тяговому приводі електровоза // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 34–38.

Поступила в редколлегию 20.10.03.

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА ВЫНОСЛИВОСТИ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПО РАЗРУШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

С целью уточненного определения коэффициентов запаса выносливости несущих конструкций подвижного состава и расчета амплитуд эквивалентных по разрушающей способности симметричных циклов их нагружения предлагается расчетная модель, которая учитывает распределение параметров циклов нагрузки несущей конструкции в эксплуатационных условиях.

З метою уточненого визначення коефіцієнтів запасу витривалості несучих конструкцій рухомого складу та розрахунку амплітуд еквівалентних за руйнівною здатністю симетричних циклів їх навантаження пропонується розрахункова модель, яка враховує розподіл параметрів циклів навантаження несучої конструкції в експлуатаційних умовах.

With the aim of precise definition of endurance margin factors of the rolling-stock carrying structures and calculation of amplitudes of symmetric cycles of their loading, equivalent in their destructibility, a calculation model has been offered, which takes into account the distribution of the loading cycle parameters of the carrying structure in operational conditions.

Аппарат коэффициентов запаса является основой инженерного расчета несущих конструкций железнодорожного подвижного состава [1–5]. Различные несущие элементы его конструкций работают при существенно различных соотношениях средних напряжений и амплитуд циклов нагружения. Поэтому методы определения коэффициентов запаса должны учитывать реальный характер их эксплуатационной нагруженности, по крайней мере в том случае, когда уже имеется соответствующий экспериментальный материал. С понятием коэффициента запаса тесно связано понятие эквивалентных напряжений, которые должны иметь одинаковый запас выносливости с асимметричными эксплуатационными напряжениями. По величинам эквивалентных напряжений оценивается ресурс несущих конструкций подвижного состава. В связи с этим методология определения эквивалентных напряжений также весьма важна.

Методы и подходы к определению коэффициентов запаса для асимметричных напряжений подробно обсуждены в работе [6]. На рис. 1. приведен один из аналогов диаграммы предельных циклов (линия предельных амплитуд), которая является геометрической интерпретацией вида циклического нагружения несущей конструкции. Характеристиками цикла нагружения считаются: амплитуда

$\sigma_a = 0,5 |(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})|$, σ_{\max} – максимальное алгебраическое значение напряжения цикла, σ_{\min} – минимальное алгебраическое значение напряжения цикла; размах напряжения цикла $\sigma_p = 2\sigma_a$ и среднее напряжение цикла $\sigma_m = 0,5(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$. Геометрическое построение выполняется на числовой плоскости, характеризующей параметры циклов нагружения (назовем ее условно *плоскостью параметров цикла нагружения*).

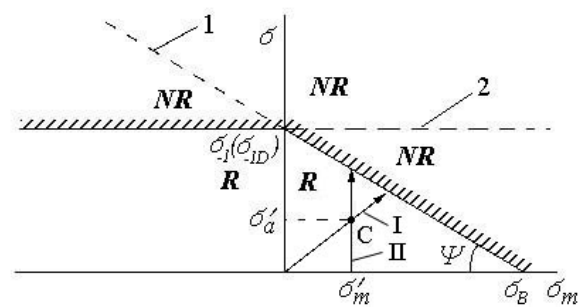


Рис. 1. Плоскость параметров цикла нагружения с характерными атрибутами

Полуплоскость при $\sigma > 0$ (положительная амплитуда цикла) может быть разделена на две области: R – область условно неограниченной долговечности материала или конструкции, когда отсутствуют амплитуды, превышающие предел выносливости σ_{-1} (для конструкции

σ_{-1D}); NR – область ограниченной долговечности.

Координаты цикла нагружения в осях $\sigma_m - \sigma$ (σ_m – среднее напряжение цикла, σ – амплитуда цикла) однозначно определяют параметры (σ'_a, σ'_m) цикла C нагружения и его принадлежность к соответствующей области (R, NR).

Переход нагружения конструкции из области R в NR и наоборот может осуществляться в процессе длительной эксплуатации по причинам, не связанным с уровнем и характером внешних нагрузок, действующих на конструкцию, например:

- изменение моментов сопротивления конструкции и коэффициентов концентрации напряжений вследствие равномерной и местной коррозии;

- изменение механических свойств материала конструкции вследствие длительного нагружения и воздействия окружающей среды;

- релаксация уровней остаточных напряжений вследствие тренировки материала нагружением.

Кроме того, верхняя полуплоскость параметров цикла нагружения делится на два квадранта: $\sigma_m \geq 0$ – циклы нагружения с растягивающим средним напряжением цикла и $\sigma_m < 0$ – циклы нагружения со сжимающим средним напряжением цикла. Учет асимметрии циклов для этих областей принципиально различен.

При использовании идеализации Гудмана [6] область работоспособности R в квадранте положительных (растягивающих) средних напряжений цикла нагружения отделяется от области NR линией 1 (см. рис. 1), описываемой уравнением

$$\sigma_{-1m}^+ = \sigma_{-1} - \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_\sigma} \sigma_m, \quad \sigma_m \geq 0, \quad (1)$$

где σ_{-1m}^+ – предел выносливости при положительном среднем напряжении цикла; σ_{-1} – предел выносливости; σ_σ – предел прочности материала (конструкции); σ_m – положительное среднее напряжение цикла.

Наклон прямой Гудмана ψ (коэффициент чувствительности к асимметрии цикла) определяется как

$$\psi = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_\sigma}. \quad (2)$$

При сжимающем среднем напряжении цикла чувствительность к асимметрии цикла практически отсутствует [7], в этом случае области R и NR разделяются линией 2 (см. рис. 1), уравнение которой

$$\sigma_{-1m}^- = \sigma_{-1}, \quad \sigma_m < 0, \quad (3)$$

где σ_{-1m}^- – предел выносливости при отрицательном среднем напряжении цикла.

Граница области работоспособности R вне зависимости от знака среднего напряжения цикла может быть формально описана единым уравнением

$$\sigma_{-1m} = \min(\sigma_{-1m}^+, \sigma_{-1m}^-). \quad (4)$$

Для цикла C (см. рис. 1) с координатами (σ'_a, σ'_m) коэффициент запаса может быть определен двумя способами [6] в предположении различных путей перехода к границе области работоспособности конструкции (или материала):

- переход из точки C к прямой Гудмана осуществляется по лучу I , проведенному из начала координат (то есть при переходе к границе области R , σ'_a и σ'_m увеличиваются пропорционально, что называется запасом выносливости по подобному циклу). Данное предположение [6; 8] приводит к соотношению для коэффициента запаса n_D конструкции

$$n_D = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma + \frac{\psi}{K_k} \sigma_m}, \quad (5)$$

где K_k – коэффициент концентрации напряжений в конструкции;

- переход из точки C делается по лучу II (σ_m постоянно, изменяется только амплитуда σ – запас по амплитуде). Такое предположение дает такое расчетное соотношение [6] для коэффициента запаса по амплитуде n_{AD}

$$n_{AD} = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma / \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_\sigma}\right)}. \quad (6)$$

Эквивалентные симметричные напряжения определяются из условия, что вычисленные для них и для асимметричных напряжений коэффициенты запаса являются одинаковыми.

При определении эквивалентных напряжений по подобному циклу приходим к соотношению [6]

$$\sigma_{EP} = \sigma + \frac{\Psi}{K_k}(\sigma_m + \sigma_s), \quad (7)$$

где σ_{EP} – эквивалентное по нагрузочной способности напряжение в конструкции, рассчитанное по принципу подобного цикла; σ_s – напряжение от статической (весовой) нагрузки на элемент конструкции.

Таким же образом, исходя из одинакового коэффициента запаса по амплитуде, получим [6] значения эквивалентных напряжений, в которые не входит коэффициент чувствительности Ψ и коэффициент концентрации напряжений K_k

$$\sigma_{EA} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{(\sigma_m + \sigma_s)}{\sigma_s}}, \quad (8)$$

где σ_{EA} – эквивалентное напряжение в конструкции, рассчитанное по принципу запаса по амплитуде.

Для типичных значений коэффициента чувствительности к асимметрии цикла $\Psi = 0,3$ и коэффициента концентрации напряжений $K_k = 4,0 \dots 4,1$ значение множителя при среднем значении напряжения цикла σ_m формулы (7) составляет $0,073 \dots 0,075$.

Это позволяет в ряде случаев не принимать во внимание величины средних напряжений циклов, а учитывать только их амплитуды [3], что тоже можно считать самостоятельным подходом к учету асимметрии циклов нагружения.

В работе [6] сопоставлены способы определения эквивалентных напряжений (уравнения (7), (8)) в тех случаях, когда уровень эксплуатационных напряжений близок к пределу выносливости конструкции. Там же сделан вывод о том, что при этом получаются взаимно близкие результаты такого приведения. Однако для напряжений, значительно превышающих предел выносливости (при проведении форсированных стендовых вибрационных испытаний), или редких, но существенных перегрузок несущих элементов, погрешность по наработке может быть достаточно существенной, причем не в сторону её завышения.

Оценим приближенно максимальные взаимные отклонения при разных способах приведения асимметричных циклов нагружения к эквивалентным симметричным напряжениям. Результаты этих оценок сведены в табл. 1. В таблице методы приведения пронумерованы следующим образом: 1 – приведение по принципу подобного цикла; 2 – приведение по принципу запаса по амплитуде; 3 – учет только амплитуд циклов нагружения.

Таблица 1

Оценочное сравнение способов приведения асимметричных циклов напряжений к эквивалентным симметричным (за эталон принят метод приведения по подобному циклу, установленный Нормами расчета)

№ метода приведения	Статическая нагрузка	Коэффициент динамики	Расчетная формула	Безразмерное значение эквивалентного напряжения	Относительная погрешность, %	Погрешность по наработке, %
1	1,0	0,3	$\sigma = 0,3 + \frac{\Psi}{K_k} 1,0^*$	0,375	0	0***
2			$\sigma = \frac{0,3}{1 - \frac{1,0}{2,5}}^{**}$	0,500	33	313
3			$\sigma = 0,3$	0,300	-20	-207

Примечания:

* – приняты значения $\Psi = 0,3$ и $K_k = 4,0$;

** – в расчетной формуле принято соотношение $\sigma_{-1}/\sigma_s = 195/450 = 0,43$, которое обеспечивает близкое к максимальному значению вычитаемого в знаменателе формулы;

*** – наработка определяется по формуле $D = \sum \sigma^m$, σ – безразмерное напряжение цикла, $m = 4$ – показатель степени кривой выносливости.

угольников OGP , AFP и OHP , ADP аналогично [6] имеем:

$$n_{ED} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi(\sigma'_m - \sigma_m)} \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_e}}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_e}}, \quad (11)$$

$$\sigma_{EE} = \frac{\sigma_a + \psi(\sigma'_m - \sigma_m)}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_e}}, \quad (11)$$

где σ_{EE} – эквивалентное напряжение, определенное на направлении выхода элемента несущей конструкции из состояния равновесия.

Рассмотрим теперь случай, когда направление отклонения параметров цикла нагружения от равновесного положения таково, что соответствующая линия пересекается с линией 2 (см. рис. 1). Данная ситуация отражена на рис. 4.

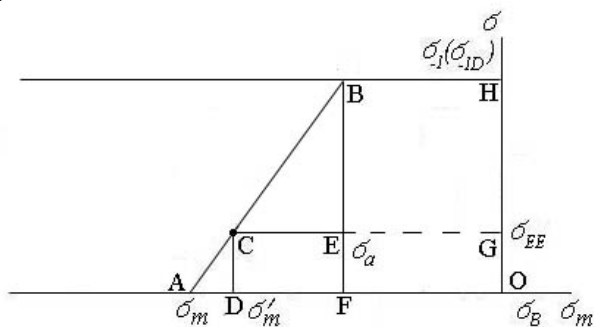


Рис. 4. Иллюстрация к определению эквивалентных напряжений при отрицательной асимметрии цикла нагружения

Учитывая подобие треугольников ACD и ABF , а также равенство отрезков $EF = OG$, $FB = OH$, получим выражения для коэффициента запаса выносливости и эквивалентного напряжения в виде

$$n_{ED} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a}, \quad \sigma_{EE} = \sigma_a. \quad (12)$$

С учетом случайного характера отклонений параметров циклов нагружения от равновесного положения, нельзя без соответствующей логической проверки предполагать, какую из формул (11) или (12) необходимо применить для расчета коэффициента запаса и амплитуды эквивалентного напряжения. Однако с учетом соотношения (4) можно предложить простейшее выражение для выбора соответствующих соотношений, удобное для реализации автоматизированной обработки данных натурных испытаний.

$$n_{ED} = \min \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi(\sigma'_m - \sigma_m)} \cdot \frac{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_e}}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_e}}, \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a} \right),$$

$$\sigma_{EE} = \max \left(\frac{\sigma_a + \psi(\sigma'_m - \sigma_m)}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_e}}, \sigma_a \right). \quad (13)$$

Результаты сравнительной обработки напряжений в консольной части продольной балки рамы тележки пассажирского вагона КВЗ-ЦНИИ, показанные ранее на рис. 2, приведены в табл. 2. В качестве критерия, влияющего на дальнейшие оценки ресурса несущей конструкции, принята её наработка.

Таблица 2

Результаты сравнительного расчета наработок несущей конструкции при разных способах приведения напряжений к амплитудам эквивалентных симметричных циклов нагружения

Условия движения		Наработка при использовании способа приведения, МПа ⁴ ·10 ⁴			
Диапазон скоростей, км/ч	План пути: П – прямая; К – кривая R > 650 м	по подобному циклу	по запасу амплитуды	учет амплитуд колебаний	по формулам (13)
20–40	П	8,90	0,76	0,59	0,77
80–100	П	15,10	6,90	5,40	6,80
60–80	К	8,10	3,10	2,40	3,00

Для определения наработок здесь используется выражение [3], основанное на степенной кривой выносливости, в котором принимаются во внимание все амплитуды циклов нагружения:

$$D = \sum_{i=1}^N \sigma_{Ei}^m, \quad (14)$$

где D – мера наработки; σ_{Ei} – эквивалентное напряжение i -го цикла; N – суммарное число циклов нагружения конструкции; $m = 4$ – показатель степени кривой выносливости.

Как видно из результатов расчета, оценки наработок несущей конструкции по запасу ам-

плитуды и эксплуатационному распределению наиболее близки друг другу.

Они ниже наработки по подобным циклам, но выше наработки с учетом только амплитуд циклов нагружения.

Однако данные оценки для напряжений малых величин недостаточно показательны и можно ожидать большего их отличия при иных соотношениях параметров циклов. Анализ расчетных соотношений (5)–(8) и (13) позволяет сделать выводы о соотношении уровней эквивалентных напряжений, возникающих при различных ситуациях движения. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Возможные соотношения расчетных величин эквивалентных напряжений

Метод приведения	Характер циклического нагружения конструкции	Ситуации, приводящие к появлению наибольших для данного метода напряжений
По подобному циклу	Нагружение в области малых амплитуд напряжений с асимметричными циклами нагружения	Движение по прямому участку пути хорошего качества
По запасу по амплитуде	Нагружение в области больших амплитуд напряжений	Движение в кривой и в прямой для элементов с превалирующей статической составляющей циклов нагружения
По эксплуатационному распределению	Нагружение в области больших амплитуд напряжений с асимметричными циклами нагружения	Движение в кривой и в прямой для элементов с превалирующей статической составляющей циклов нагружения и неудовлетворительным качеством пути
Учет амплитуд циклов нагружения	Большие амплитуды циклов нагружения	Неудовлетворительные показатели динамики подвижного состава

В соответствии с расчетными соотношениями, запас по амплитуде и эксплуатационное распределение параметров циклов нагружения дают наиболее близкие оценки значений эквивалентных напряжений и наработки конструкции в эксплуатации.

Таким образом, в работе идет речь об уточнении оценок наработки, коэффициентов запаса и амплитуд эквивалентных напряжений с учетом эксплуатационного распределения параметров циклов нагружения конструкций.

Выводы

1. При оценке коэффициентов запаса выносливости и определении симметричных напряжений, эквивалентных эксплуатационным, целесообразно учитывать реальное распределение параметров циклов нагружения конструкции.

2. Предложен способ оценки коэффициентов запаса выносливости и определения эквивалентных напряжений, основанный на учете направления выхода координаты цикла нагружения из равновесного положения.

3. Разработаны расчетные соотношения для определения запаса выносливости и вычисления симметричных эквивалентных напряжений с учетом характера распределения параметров циклов нагружения несущих конструкций подвижного состава.

4. Учет эксплуатационного распределения параметров циклов нагружения наиболее близок к методу их оценки по запасу амплитуды. На этапе проектирования подвижного состава целесообразно использовать соотношения запаса по амплитуде для оценки коэффициентов запаса и эквивалентных напряжений в конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические требования к проектируемым локомотивам по условиям прочности, динамики и воздействия на путь. – М.: МПС, ВНИИЖТ, 1964. – 13 с.
2. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ РФ, 1996. – 319 с.
4. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М.: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1997.
5. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М.: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
6. О модели сопротивления усталости несущих конструкций тягового подвижного состава для оценки их остаточного ресурса / Блохин Е. П., Горобец В. Л., Кулешов В. П., Саввин Ю. И // Вісник СУДУ, 2002. – № 2. – С. 276–289.
7. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
8. Гаркави Я. Н., Демин Ю. В., Стукалов А. И., Филиппюк С. И. К вопросу о продлении долговечности сварных узлов путевых машин по результатам испытаний. В сб. «Переходные режимы движения и колебания подвижного состава». Вып. 114. – Д., ДИИТ, 1970. – С. 144–150.

Поступила в редколлегию 20.10.03.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТЕЛЕЖЕК ЛОКОМОТИВОВ

В статье приводится описание современных конструкций тележек с улучшенными динамическими характеристиками для скоростных электровозов и тепловозов зарубежного и украинского производства, а также тенденции развития отечественного электровозостроения.

У статті описуються сучасні конструкції візків, які мають кращі динамічні характеристики, для сучасних швидкісних електричних тепловозів та тепловозів іноземного та українського виробництва, а також тенденції розвитку вітчизняного електричного тепловозобудування.

The article describes modern designs of the bogies, with approved dynamic parameters, for high speed foreign and Ukrainian-produced diesel and electric locomotives. The current trends in Ukrainian locomotive-building industry have been discussed.

Эксплуатационный парк Украины стареет, а подвижной состав практически не обновляется. В бюджете Украины нет средства на закупку за рубежом новых электровозов и других видов подвижного состава. Поэтому еще в 1993 году Кабинетом Министров Украины было принято постановление № 480 (от 26.06.1993) «Про розробку і виробництво у 1993–2000 роках магістральних вантажних і пасажирських електричних тепловозів». Этот документ стал основным в создании подотрасли электровозостроения для магистрального железнодорожного транспорта.

При создании новых и модернизации существующих типов магистральных электровозов необходимо учитывать то обстоятельство, что в последние годы железные дороги Украины испытывают все возрастающую конкуренцию со стороны других видов транспорта, особенно в области пассажирских перевозок. В связи с этим увеличение скоростей движения стало насущной необходимостью. В свою очередь увеличение скоростей движения вызывает необходимость в проектировании тележек с улучшенными динамическими качествами.

В последнее время развитие зарубежного и отечественного локомотивостроения идет по пути создания тележек с системой радиальной установки колесных пар в кривых с различными техническими решениями. У таких тележек наблюдается существенное снижение уровня поперечных сил, действующих на внутренний рельс кривой [4], значительное уменьшение износа гребней колес [3–5], а также экономия энергии за счет снижения сопротивления движению поезда в крутых кривых [4].

На протяжении десятилетий одной из ведущих в разработке новых конструкций механической части локомотивов и моторвагонного подвижного состава является Швейцарская фирма Swiss Locomotive & Machine Works (SLM) [4]. В последние годы фирма уделяет основное внимание созданию тележек с радиальной установкой колесных пар в кривых, которые дают возможность движения со скоростью до 200 км/ч по сложным в плане линиям. Такие тележки нашли применение на серийных локомотивах семейства Lok2000 в ряде стран Западной Европы (электровозы: серии 460 Федеральных железных дорог Швейцарии; серии 465 региональной железной дороги BLS, Швейцария; Sr2 железных дорог Финляндии; EL18 железных дорог Нидерландов и т. д.).

Общий принцип в конструкции тележек разработки SLM – пассивное самоориентирование осей колесных пар по радиусу кривой в плане пути. При этом используется тот факт, что поверхности катания колес имеют псевдоконический профиль, и незначительного поперечного смещения колесной пары достаточно, чтобы наружное колесо в кривой установилось на больший диаметр качения, внутренний – на меньший. За счет этой разницы диаметров колесная пара автоматически ориентируется по радиусу. Обе колесные пары тележки соединены механизмом связи, обеспечивающим поворот осей в горизонтальной плоскости в противоположных направлениях и облегчающим радиальную установку колесных пар.

Первым в мире локомотивом, оснащенным тележками с радиальной установкой колесных пар в кривых, был электровоз Re 4/4 для регио-

нальной железной дороги Бодензе–Тогенбург [4], где много кривых малого радиуса.

В обычных условиях пассивного ориентирования осей по радиусу достаточно, но в особых случаях применяют активное ориентирование с помощью пневматического привода. Система активного ориентирования действует независимо от того, в каком режиме находится локомотив или моторный вагон (тяги, торможения или выбега).

В середине 80-х годов на бывших Национальных железных дорогах Японии проводили сравнительные ходовые испытания устройств, обеспечивающих самопроизвольную, полупринудительную и принудительную установки колесных пар [6]. В результате испытаний было установлено, что эффективны только два способа снижения поперечных сил во взаимодействии колес и рельсов при движении поезда с высокой скоростью в кривой малого радиуса: применение в тележке системы угловых связей и принудительная установка обеих колесных пар с помощью гидравлического привода. Система самопроизвольной установки оказалась менее эффективной. Для практического применения была принята система принудительного направления с направляющими тягами, действующая в зависимости от угла поворота тележки. При этом важно было выбрать оптимальное соотношение между длиной плеч рычага. С учетом величины поперечных сил, выявленной в ходе испытаний, его приняли на 35 % большим, чем считающееся идеальным соотношением между колесной базой тележки и расстоянием между центрами тележек.

Несмотря на трудности в экономике, в России идут на кооперацию с иностранными фирмами при создании нового подвижного состава с повышенными скоростями движения для магистральных железных дорог и промышленности. Так, продуктом совместной работы специалистов ВЭЛНИИ, НЭВЗ и фирмы «АДтранц» (Швейцария) по созданию магистральных электропоездов двойного питания с асинхронными тяговыми двигателями стал электропоезд ЭП1 для работы на стыках дорог России, электрифицированных на постоянном токе (3 кВ) и переменном токе (25 кВ, 50 Гц). Применение опорно-рамного привода позволяет повысить скорость движения до 140...160 км/ч [7].

Специалисты ВЭЛНИИ, НЭВЗа и ОАО «Коломенский завод» разработали и изготовили два пассажирских электропоезда переменного тока ЭП200 с вентильными двигателями и опорно-рамным подвешиванием, которые успешно

прошли испытания и обеспечили максимальную скорость движения 200 км/ч. Принято решение о выпуске 8...10 аналогичных электропоездов ЭП201 с конструкционной скоростью 160 км/ч [7].

Автор статьи [8] на примере локомотива типа 2ТЭ116 методами компьютерного моделирования провел исследования влияния различных конструкций экипажей на динамику локомотива, а также на износ бандажей колес. Сравнивались два варианта конструкции тележек. Первый вариант – с управляемыми связями кузова с тележкой, которые создают (с помощью силовых цилиндров) «активные» моменты, действующие от кузова на тележку по направлению к центру кривой. Второй вариант – локомотив с устройствами радиальной установки колесных пар в кривой. Эти устройства поворачивают к центру кривой не всю тележку, а только ее колесные пары. В связи с относительной сложностью устройств первого типа и систем управления применение их на магистральных локомотивах ограничено.

В работе [9] автор описывает конструкцию тележки с активной следящей системой управления положением колесных пар в прямых и кривых участках пути (патент № 2168431). После проведения испытаний электропоезда ВЛ60^к-1699, оборудованного такими тележками, оказалось, что управляемая тележка со свободно вращающимися на оси колесами не имеет ограничения скорости по устойчивости автоколебательных процессов в горизонтальной плоскости (извилистое движение), благодаря чему она может быть использована для высокоскоростного рельсового подвижного состава. Следящая система управления движением тележки со свободно вращающимися на оси колесами в прямых и кривых участках пути обеспечивает необходимую установку колесных пар в кривых независимо от скорости и режима движения.

Специалисты ВНИИЖТа также считают, что на подвижном составе наиболее целесообразно применение колесных пар с независимо вращающимися на оси колесами [10], которые по сравнению с обычными колесными парами обладают рядом преимуществ. В частности, с увеличением скорости движения у колесных пар с независимо вращающимися на оси колесами не возникают автоколебания в горизонтальной плоскости.

Однако натурные испытания подвижного состава с колесными парами такой конструкции выявили их существенный недостаток: из-за

недостаточного направляющего действия конусности бандажей происходит длительное взаимодействие гребней бандажей и головок рельсов, что в свою очередь вызывает повышенный износ гребней бандажей.

Специалисты ВЭЛНИИ в содружестве с производителями НЭВЗа разработали унифицированную экипажную часть шестиосного пассажирского электровоза. Этот электровоз с бесколлекторными тяговыми двигателями обеспечивает движение с конструкционной скоростью 160...180 км/ч, а в перспективе, после применения тягового привода III класса, ожидается, что скорость движения возрастет до 200 км/ч. Особенностью данной тележки являются: тяговый привод с опорно-рамным подвешиванием двигателей и системы связей тележек с кузовом [10]. Кузов опирается на крайние тележки посредством пружин, установленных на боковине рамы и работающих на сжатие и сдвиг. Значительное снижение жесткости системы опирания кузова на тележки поперечному сдвигу кузова относительно них при движении в прямых и угловому повороту при входе в кривые и движении в круговых кривых заметно улучшает динамические характеристики экипажа и уменьшает его воздействие на путь.

Актуальность проблемы внедрения скоростного движения в международном сообщении на железных дорогах Украины возросла после разработки концепции развития транспорта Украины на 1997–2010 гг. и одобренной Кабинетом Министров Украины «Программы создания и функционирования национальной сети международных транспортных коридоров в Украине» [11]. В этих документах предусматриваются техническое перевооружение железнодорожных коридоров, а также повышение скорости движения поездов на существующих линиях международного значения и выполнение комплекса подготовительных работ для обеспечения развития высокоскоростного движения по всей территории Украины. Как известно, повышение скорости движения поездов – это сложная проблема. Она требует комплексного и гармоничного развития всех компонентов: вагонного и локомотивного парка, путевой инфраструктуры, систем централизации, автоблокировки, энергоснабжения. Все это в свою очередь влечет за собой большие капиталовложения.

Учитывая зарубежный и отечественный опыт, ученые и специалисты железнодорожного транспорта Украины определили концепцию организации скоростного и высокоскоростного

движения пассажирских поездов, которая предусматривает поэтапное повышение скоростей движения до 160 км/ч на существующих линиях с последующим переходом к созданию специализированных высокоскоростных (до 250 км/ч) магистралей.

Ведутся работы по созданию нового и модернизации существующего подвижного состава с учетом все возрастающих требований к его скорости движения, комфорту и безопасности. В связи с этим постановлением Правительства было предусмотрено, в первую очередь, создание и освоение производства восьмиосного грузового электровоза постоянного тока типа ДЭ1, который по своим параметрам и эксплуатационным характеристикам должен не только заменить изношенный эксплуатируемый парк электровозов, но и удовлетворять требованиям эксплуатации, как минимум, в течение 30 лет. Работы в этом направлении ведутся с 1993 года, а в 2003 году получено разрешение Межведомственной комиссии на выпуск опытной партии из 40 электровозов, из которых уже 24 переданы в эксплуатацию. Созданный электровоз превосходит своих предшественников мощностью, силой тяги, а следовательно, и производительностью, обеспечивая при этом минимальные затраты энергии на единицу перевозочной работы. Принципиально новая экипажная часть электровоза обеспечивает высокие динамические качества при движении на всех участках пути и обеспечивает необходимую прочность при всех режимах работы электровоза. Тележки электровоза не содержат узлов трения, а все шарнирные соединения связей с кузовом выполнены герметическими со смазыванием, что позволяет снизить затраты на ремонт и обслуживание экипажной части электровоза. Для передачи силы тяги (торможения) от тележек к кузову применены наклонные тяги.

Созданию первого магистрального украинского электровоза предшествовала многолетняя работа не только промышленников, но и научного потенциала ДИИТа. Еще на стадии проектирования, с учетом особенностей конструкции электровоза, с помощью компьютерного моделирования выбирались рациональные значения различных его узлов [12–15].

Конструкционная скорость первого отечественного грузового магистрального электровоза – 100 км/ч. Но работы по созданию нового подвижного состава, в том числе и скоростного, для железных дорог Украины продолжаются. В 1998 году начаты работы по созданию

четырёхосного грузопассажирского электровоза переменного тока типа ДСЗ, на котором реализован ряд принципиально новых технических решений. Электровоз ДСЗ является базовым электровозом с асинхронными тяговыми двигателями. Расчетное значение конструкционной скорости движения электровоза ДСЗ-001 принято равным 160 км/ч.

Однако и эта новая модель, опытный образец которой проходит приемочные испытания, сможет в лучшем случае обеспечить в будущем движение со скоростью до 200 км/ч. Переход в Украине к высокоскоростному локомотивостроению приводит к необходимости искать новые технические решения, связанные с принудительным вписыванием в кривые колесных пар и тележек, использованием устройств наклона кузова или иные методы повышения скорости движения без ущерба для динамических качеств подвижного состава, безопасности его движения и комфорта для пассажиров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чумак В. В., Браташ В. А. Перспективы развития электровозостроения в Украине // Транспорт. – Вып. 11. 2002. – С. 3–6.
2. Кірка Г. М. Основні напрямки поліпшення стану Українських залізниць у сучасних умовах // Залізничний транспорт України. – 2001. – № 4. – С. 2–6.
3. Смит Р. Е., Андерсон Р. Дж. Тележки с радиальной установкой колесных пар в кривых // Железные дороги мира. – 1989. – № 12. – С. 39–51.
4. Тележки фирмы SLM с радиальной установкой колесных пар в кривых // Железные дороги мира. – 1998. – № 3. – С. 42–47.
5. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Сооружения и устройства. Подвижной состав. Организация перевозок. (Обобщение отечественного и зарубежного опыта).

- Т. 2. – СПб.: Информационный центр «Выбор», 2003. – 448 с.
6. Новая тележка для дизель-поездов железных дорог Японии // Железные дороги мира. – 2001. – № 9. – С. 48–50.
7. Новому веку – новый подвижной состав // Локомотив. – 2000. № 9–12.
8. Маслиев В. Г. Динамика локомотива с устройством для радиальной установки колесных пар в кривых // Вісник Східноукр. нац. ун-ту. Технічні науки. Серія Транспорт. – 2002. – № 6(52). – С. 69–74.
9. Цыганков П. Ю. Совершенствование конструкции тележек скоростных локомотивов с целью улучшения их динамики: Автореф. на соиск. ... к.т.н. – М. – 2002. – 24 с.
10. Кодинцев И. В., Бабков Е. В. Электровоз двойного питания ЭП10: особенности конструкции и электрических схем // Локомотив. – 1999. – № 12. – С. 9–11.
11. Програма створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні // Урядовий кур'єр. Орієнтир. – 09.04.1998. – С. 7-16.
12. Динамические характеристики и рациональные значения параметров ходовых частей электровоза ДЭ1 / Е. П. Блохин, В. Д. Данович, В. А. Литвин и др. / Транспорт. – Вып. 11. 2002. – С. 8–16.
13. Блохин Е. П., Коротенко М. Л., Грановский Р. Б. Динамические ходовые испытания электровоза ДЭ1 (001; 002) // Транспорт. – Вып. 11. 2002. – С. 42–47.
14. Динамічні випробування електровоза ДЕ1-008 в умовах Львівської залізниці / Є. П. Блохін, М. Л. Коротенко, Н. Й. Грановська та ін. / Транспорт. – Вып. 11. 2002. – С. 48–52.
15. Выбор рациональных значений жесткости связи наклонной тяги с кузова электровоза / Е. П. Блохин, М. Л. Коротенко, И. В. Клименко и др. / Транспорт. – Вып. 11. 2002. – С. 17–20.

Поступила в редколлегию 14.10.03.

ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ К ЗАДАЧАМ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Рассмотрены вопросы применения МКЭ в задачах оптимального проектирования подвижного состава железных дорог. Приведена общая схема процесса оптимизации, построенная на основе метода проекции градиента.

Розглянуті питання використання МКЕ в задачах оптимального проектування рухомого складу залізниць. Наведено загальну схему процесу оптимізації, побудовану на основі методу проєкції градієнта.

The possibility of using the finite elements method for optimal designing of railway rolling stock has been considered. The general optimization scheme, based on the gradient projection method, has been proposed.

При решении задачи оптимизации несущих конструкций подвижного состава железных дорог основные трудности представляет задача достижения минимума собственной массы конструкции при сохранении эксплуатационных требований.

В настоящее время выбор рациональных параметров конструкций подвижного состава железных дорог осуществляется, в основном, путем вариантного проектирования. В процессе проектирования размеры несущих элементов назначаются конструктором на основе опыта проектирования аналогичных конструкций. Затем производятся корректировки размеров элементов по результатам расчетов на прочность и испытаний опытных образцов таким образом, чтобы действительные напряжения в основных несущих элементах были близки к допустимым.

Такой способ выбора рациональных параметров, в значительной степени основанный на личном опыте и интуиции проектировщика, позволяет рассмотреть ограниченное число вариантов, при этом может оказаться, что конструкции с оптимальными параметрами находятся в числе нерассмотренных.

Задача определения оптимальных параметров конструкций подвижного состава может быть решена путем применения оптимального проектирования, базирующегося на методах математического программирования.

В настоящее время существует большое количество методов оптимального проектирования, которые условно можно разделить на две основные группы – методы безусловной и условной оптимизации.

Как одни, так и другие методы нашли широкое применение при оптимизации инженерных конструкций в различных отраслях машиностроения.

Рассматриваемый в данной статье метод проекций градиента в сочетании с моделированием конструкции при помощи конечных элементов обладает достаточной универсальностью, так как позволяет непосредственно учесть ограничения на параметры конструкции и требования к режиму ее работы. Однако при решении задач оптимизации сложных механических систем применение этого метода может привести к определенным трудностям, которые связаны, прежде всего, с отсутствием аналитической зависимости напряжений в несущих элементах при действии определенной нагрузки от параметров конструкции. Поэтому в работе предлагается некоторая модернизация метода проекции градиента, позволяющая использовать МКЭ [1] в процессе оптимизации.

В большинстве задач оптимизации конструкций поведение механической системы описывается совокупностью переменных, называемых переменными состояния. Конструктор не может непосредственно управлять переменными состояния – перемещениями и напряжениями, но может воздействовать на эти величины, меняя значения переменных проектирования.

Введем обозначения:

Z – вектор размерности n переменных состояния;

X – вектор размерности m переменных проектирования.

Тогда функция цели, представляющая собой объем оптимизируемых элементов, будет иметь вид

$$F(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_m – компоненты вектора X , являющиеся размерами оптимизируемых элементов.

Так как для моделирования поведения конструкции используется метод конечных элементов, то уравнение состояния можно записать как:

$$K(X)Z = Q, \quad (2)$$

где $K(X)$ – глобальная матрица жесткости ансамбля конечных элементов конструкции; Q – вектор приведенных нагрузок в узлах конечно-элементной модели.

Ограничения могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} \psi_i(X, Z) &= \frac{[s_i]}{s_i(X, Z)} - 1 \geq 0, \quad i = 1, l_1, \\ \beta_i(X) &= 0, \quad i = 1, l_3, \\ a_i < x_i < b_i, \quad i &= 1, l_2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $[s_i], s_i(X, Z)$ – нормативные и текущие значения параметров состояния в i -м элементе конструкции (напряжения, прогибы); $\beta_i(X)$ – функции, задающие связь между параметрами оптимизации; a_i, b_i – ограничения на значения параметров проектирования; l_1, l_2, l_3 – соответственно количество ограничений на параметры состояния, количество функций, связывающих оптимизируемые параметры вектора X и количество искоемых размеров.

Применим метод проекции градиента для оптимизации параметров конструкции с уравнением состояния (2) при ограничениях (3). Под оптимальными параметрами будем понимать те значения компонентов вектора X , при которых функция (1) достигает минимума.

При использовании метода проекции градиента, основываясь на локальном поведении функции цели и функций, задающих ограничения, на каждом шаге оптимизации определяется направление поиска. Приращение вектора X на i -м шаге в найденном направлении дает новое приближение к оптимальной конструкции

$$X_i = X_{i-1} + \delta X_i.$$

При этом основной отличительной чертой рассматриваемого метода является то, что на каждом шаге итераций функция цели $F(X)$ уменьшается, а ограничения не нарушаются.

Вектор δX приращений параметров проектирования определяется из соотношения

$$\delta X = -t\delta X_1 + \delta X_2,$$

где δX_2 – вектор, задающий необходимую коррекцию невязок в ограничениях; δX_1 – вектор, не влияющий на невязки в ограничениях и представляющий собой направление спуска для целевой функции; t – параметр шага.

Вывод выражений для определения δX_1 и δX_2 приведен в работе [2], поэтому приведем лишь их окончательные выражения:

$$\begin{aligned} \delta X_1 &= W^{-1}[\xi + \eta\mu_1] \\ \delta X_2 &= W^{-1}\eta\mu_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где W^{-1} – положительно определенная матрица весовых коэффициентов переменных проектирования размерности m ; ξ – градиент функции цели; η – матрица размерности $[m \times l_1]$, столбцами которой являются градиенты функций, задающих ограничения; μ_1 и μ_2 – векторные множители размерности l_1 , которые определяются согласно процедуре метода проекции градиента [2].

Из соотношения (4) видно, что для вычисления вектора приращений параметров на каждом шаге итерации необходимо определять значения компонентов векторов ξ и матрицы η . Из приведенных выше определений можем записать аналитические выражения для их определения

$$\xi = \frac{\partial F(X)}{\partial X} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(X)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial F(X)}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial F(X)}{\partial x_m} \end{bmatrix}; \quad \eta = \frac{\partial \psi(X, Z)}{\partial X} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \psi_{l_1}}{\partial x_1} \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial \psi_{l_1}}{\partial x_2} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial x_m} & \dots & \frac{\partial \psi_{l_1}}{\partial x_m} \end{bmatrix}.$$

Из приведенного соотношения видно, что компоненты матрицы η зависят от переменных состояния конструкции. Вычисление этой матрицы является наиболее трудоемкой операцией в алгоритме метода проекции градиента, так как при решении практических задач оптими-

зации конструкции получить аналитические выражения $\psi(X, Z)$, а, следовательно, и $\frac{\partial \psi(X, Z)}{\partial X}$, как правило, не удастся.

Поэтому предлагается численное определение коэффициентов матрицы η с использованием известного соотношения для вычисления частных производных от функции многих переменных:

$$\frac{\partial \psi_i}{\partial x_j} = \frac{\psi_i(x_1, x_2, \dots, x_j + \Delta x_j, \dots, x_m) - \psi_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m)}{\Delta x_j}.$$

В свою очередь, для определения значений функции ψ_i производится расчет конструкции по МКЭ и определяется напряжение σ'_i в элементе, для которого заданы ограничения. Затем дается приращение j -му параметру оптимизации, вновь производится расчет конструкции и определяется напряжение σ''_i при измененном значении j -го параметра. Тогда, принимая во внимание (3), компоненты матрицы η можно определить из соотношения:

$$\frac{\partial \psi_i}{\partial x_j} = \frac{\sigma''_i - \sigma'_i}{\Delta x_j} \lambda,$$

где λ – нормирующий множитель, который определяется из выражения вида:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\sigma''_i - \sigma'_i}{\Delta x_j} \right)^2}}.$$

Основным недостатком изложенного способа вычисления градиентов функций, задающих ограничения по прочности, является необходимость многократного расчета конструкции с использованием МКЭ. Однако при определенном виде нагружения прочность конструкции в целом обусловлена прочностью нескольких элементов. Следовательно, число функций, задающих ограничения по прочности, и размерность матрицы η будут небольшими. Поэтому, принимая во внимание вышесказанное, а также высокое быстродействие современных ЭВМ, можно рекомендовать описанный метод для проведения практических оптимизационных расчетов несущих конструкций подвижного состава на стадии проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 350 с.
2. Хог Э., Арора Е. Прикладное оптимальное проектирование. – М.: Мир, 1983. – 480 с.

Поступила в редколлегию 18.10.03.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕСТКИХ СТАЛЬНЫХ БУНКЕРОВ

У статті викладені найбільш важливі положення сучасної концепції проектування жорстких сталевих бункерів як окремого класу будівельних конструкцій. Виділені та проаналізовані її недоліки, а також основні проблеми, які перешкоджають створенню достатньо надійної, довговічної та ремонтпридатної конструкції. Разом з цим авторами наводяться власні рекомендації щодо цих проблем вирішення і намічаються подальші перспективи розвитку теорії бункеробудування.

В статье изложены наиболее важные положения современной концепции проектирования жестких стальных бункеров как отдельного класса строительных конструкций. Выделены и проанализированы ее недостатки, а также основные проблемы, препятствующие созданию достаточно надежной, долговечной и ремонтпригодной конструкции. Наряду с этим авторами приводятся собственные рекомендации по решению этих проблем и намечаются дальнейшие перспективы развития теории бункеростроения.

The paper enlists the most important points of modern designing concept of rigid steel bunkers as a separate class of building structures. Its drawbacks and also the main problems, preventing from creation of a sufficiently reliable, durable and repairable structure, are singled out and analyzed. At the same time, the authors provide their own recommendations as for solution of these problems and outline the further outlook of the bunker-building theory development.

Современные отрасли промышленности и сельского хозяйства используют в различных технологических процессах огромное количество газообразных, жидких и сыпучих материалов. Для их постепенного накопления и хранения были разработаны и созданы соответствующие виды строительных конструкций. В той или иной степени все они представляют собой сосуды, различающиеся по форме и размерам. Так, различные газы принято в промышленных объемах содержать в газгольдерах или ресиверах, для жидкостей применяются резервуары, а сыпучие вещества хранятся в бункерах или силосах. Различие в специфике хранимого вещества приводит к различию требований, предъявляемых к различным видам таких сосудов. В свою очередь, это ведет к различию в их конструктивном исполнении, иногда довольно существенному.

Поскольку все такие конструкции образованы оболочечными структурами, то для их изготовления чаще всего применяется сталь, что позволяет сравнительно просто и эффективно создавать объемные и легкие емкости, обладающие при этом герметичностью и приемлемым уровнем ремонтпригодности.

На протяжении всей истории применения таких емкостей их формы и конструктивные решения постоянно улучшались и видоизменялись параллельно с развитием соответствующей

отрасли хозяйства, приобретая иногда совершенно иное смысловое наполнение. Окончательное их оформление приходится приблизительно на середину прошлого столетия и достаточно подробно и полно отражено в ставшей уже классической работе [1]. В это время методика расчета и технологические возможности по созданию таких емкостей достигли в определенном смысле своих пороговых точек, требовавших для своего дальнейшего совершенствования принципиальных качественных изменений.

В отношении некоторых видов емкостных строительных конструкций (справедливости ради отметим, что их было немало) подобные революционные решения были найдены достаточно легко и быстро. Типичным примером является строительство резервуаров, для которого был предложен способ рулонирования. Большинство же остальных видов стальных емкостных конструкций требовало более принципиального подхода [2].

К числу таких конструкций относятся и стальные бункера. По характеру работы их принято разделять на жесткие и гибкие. Жесткие бункера (рис. 1) практически не изменяют свою форму в процессе загрузки-выгрузки в них сыпучего материала, гибкие же – могут существенно менять очертания своих стенок.

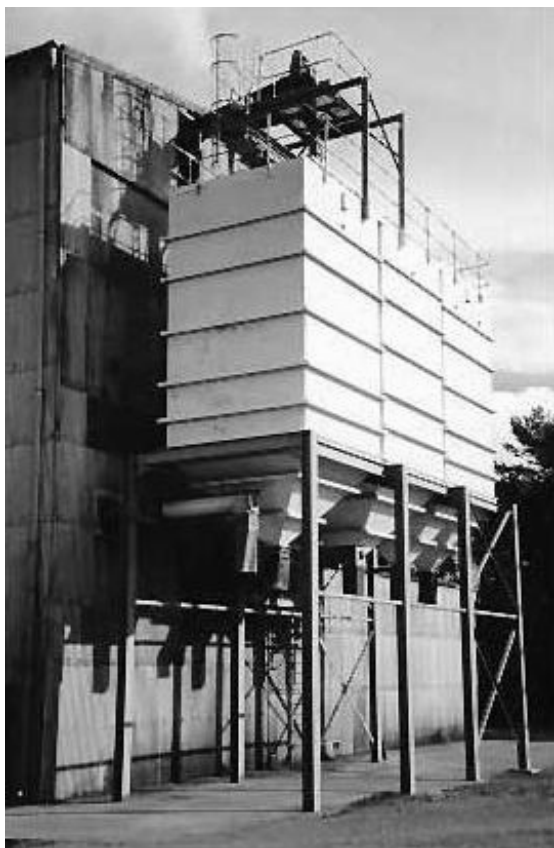


Рис. 1. Общий вид жесткого стального бункера

Работа как гибких, так и жестких стальных бункеров подробно исследовалась многими отечественными и зарубежными учеными, среди которых встречаются и достаточно известные имена – Н. Н. Аистов, Я. М. Хавин, А. Ф. Лилеев, А. П. Ваганов, С. Лурье, Р. Хиггинс, Ф. Мориссон. В недавно изданной работе авторов [3] хронологически изложены основные этапы данного процесса, а также приведены соответствующие авторские комментарии, дающие возможность оценить важность работ того или иного исследователя с современных позиций.

Несмотря на постоянно проявляемый интерес к конструкциям данного класса, стальные бункера в настоящее время остаются одним из наименее изученных видов строительных конструкций, не имеющих собственной стройной и законченной теории проектирования. И если в отношении гибких бункеров работы в данном направлении достаточно продвинулись, что нашло отражение, например, в трудах последних десятилетий проф. Х. Ягофарова [4; 5], то в отношении жестких стальных бункеров такие попытки пока не увенчались успехом.

Современная концепция проектирования жестких стальных бункеров достаточно подробно и полно изложена в работах [6–10]. Од-

нако к настоящему времени она не может считаться завершенной. Ярким свидетельством в пользу этого является то, что спроектированные на ее основе конструкции бункеров довольно быстро приходят в аварийное состояние, особенно при интенсивной эксплуатации в условиях действующего промышленного предприятия (см., например, отчет [11]). Нередки аварии стальных бункеров, зафиксированные в отечественной и зарубежной специальной литературе. В работе [12] авторами настоящей публикации дается их подробная классификация, указываются причины, а также выполняется анализ их специфики и особенностей. Еще одним доводом о несовершенстве применяемой в настоящее время концепции проектирования жестких стальных бункеров является то, что, как явствует из анализа истории ее становления (см., например, [3]), она не претерпевала принципиальных изменений на протяжении всего своего существования, а это более чем сто лет.

По мнению авторов настоящей статьи, такая ситуация связана с тем, что процесс проектирования стальных бункеров затрагивает исключительно сложные вопросы, которые на сегодняшнем этапе пока еще не имеют приемлемого теоретического решения. Стремясь создать простой, понятный инженерам, метод расчета и конструирования жестких стальных бункеров, многие исследователи допускают слишком серьезное упрощение ситуации, не вдаваясь в детальное изучение рассматриваемых вопросов. Поэтому в каждом из предлагаемых подходов оказывается довольно велика доля упрощений и предположений, встречается даже и откровенное догматическое назначение недостающих по смыслу положений. В результате создается завуалированное, искаженное представление о работе сооружения, выливающееся в создание неоправданных прочностных резервов, иногда довольно значительных, либо ведущее к возникновению недопустимо больших напряжений и деформаций в конструкции, вплоть до разрушающих.

Таким образом, одним из актуальных вопросов в области современной теории расчета строительных конструкций является качественное улучшение существующей концепции проектирования жестких стальных бункеров. Возможным путем его решения и посвящается данная статья. Ее основной целью авторы считают анализ современной концепции проектирования жестких стальных бункеров, выявление ее недостатков, а также основных проблем,

препятствующих созданию достаточно надежной, долговечной и ремонтпригодной конструкции бункера указанного типа, и формулирование собственных рекомендаций по их преодолению. Проведение такого анализа будем сопровождать по мере необходимости кратким изложением существа основных положений указанной выше концепции.

Анализируя накопленные на настоящем этапе данные, авторы выделили шесть основных проблемных вопросов, решение которых позволит коренным образом пересмотреть современную концепцию проектирования жестких стальных емкостей для сыпучих материалов.

Как и при проектировании любой строительной конструкции, проектирование жесткого стального бункера начинается с выбора его формы и назначения основных геометрических размеров. Именно в этом заключается первая проблема.

К настоящему времени сложившаяся конструктивная форма стального бункера представляет собой емкость, состоящую из двух основных соединенных между собой частей: верхней вертикальной части, формирующей необходимый запас сыпучего материала, и нижней части (воронки), предназначенной для облегчения его выгрузки. Загрузка хранимого сыпучего осуществляется через верхнее загрузочное отверстие в сооружении, а разгрузка – через выпускное отверстие, расположенное в нижней части воронки (рис. 2). Форма обеих частей может быть круглой, квадратной либо прямоугольной в плане. Вся конструкция, как правило, поддерживается колоннами, расположенными по периметру воронки, хотя иногда применяется и подвесная схема работы, при которой сооружение подвешивается с помощью балок или стержневых элементов к вышестоящим опорным конструкциям.

Уже на данном этапе достаточно проблематичным является вопрос о выборе формы будущей конструкции. Как правило, круглые в плане емкости применяются при развитой вертикальной части конструкции, а квадратные и прямоугольные – при ее небольшой высоте. Однако какие-либо исследования, подтверждающие или опровергающие сложившиеся традиционные представления по данному вопросу, авторам не известны.

Между тем, как известно из математических соображений, круг всегда имеет при одинаковой с квадратом площади меньший периметр. Это означает, что бункер круглой в плане фор-

мы будет иметь меньшую боковую поверхность, чем бункер такого же объема, но имеющий в плане квадратную форму. По данным авторов, эта величина составляет около 12 %.

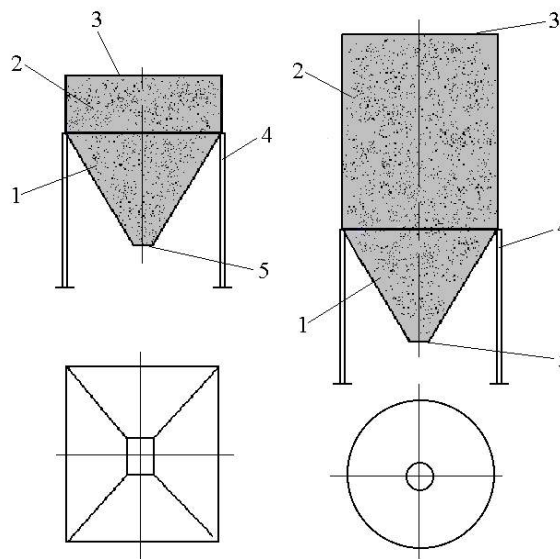


Рис. 2. Принципиальная схема бункера:
1 – воронка; 2 – вертикальная часть; 3 – загрузочное отверстие; 4 – опорная колонна; 5 – выпускное отверстие

Однако распространенное в практике строительства группирование бункерных емкостей приводит в случае выбора круглой формы к неэкономичному использованию образующегося межбункерного объема. К тому же изготовление стальных поверхностей, имеющих пространственную кривизну, дополнительно требует выполнения технологической операции вальцовки плоских листов.

Поэтому учет всех перечисленных факторов представляет собой многопараметрическую задачу, однозначное решение которой в настоящее время не предложено.

Между тем, вопрос о выборе формы для конструкции жесткого стального бункера является исключительно важным, поскольку согласно современной концепции проектирования таких конструкций имеется принципиальнейшее различие в методах дальнейшего расчета круглой и прямоугольной в плане емкости.

К тому же отечественная школа предполагает наличие двух видов емкостей для сыпучих материалов: с невысокой вертикальной частью, называемых бункерами, и высокой – силосами. Количественная граница между ними, установленная новыми нормами Украины [6], составляет величину $1,5A$ (где A – площадь горизонтального сечения емкости в уровне соединения вертикальной части с воронкой). Заметим, что эта величина различна по данным справочных

источников (подробнее см., например, работу [13]).

Как и в предыдущем случае, данный аспект, на первый взгляд, не оказывает непосредственного влияния на процесс дальнейшего проектирования конструкции бункера, но при детальном анализе выясняется, что в зависимости от выбранной конструктивной формы применяются совершенно различные методы расчета, основанные, подчас, на взаимно противоречивых положениях. Добавим, что никакого теоретического обоснования установленного разграничения авторам не известно.

Таким образом, в современной концепции фактически утрачивается целостность подхода к проектированию стальных емкостей для сыпучих материалов, что на практике приводит к определенным трудностям уже в самом начале их создания.

Зарубежная европейская нормативно-справочная литература по данному вопросу [14] количественно не разграничивает понятия бункер (bunker) и силос (silo). Они употребляются параллельно и объединяются понятием bins, которые могут быть «приземистые» (squat), что ближе к принятому понятию бункера, или «стройные» (slender), что практически соответствует понятию силоса в русскоязычной литературе. Американская нормативно-справочная литература [15] также использует единственный термин «bins».

Следующий, второй, проблемный вопрос связан с назначением размеров конструкции бункера. Имеющиеся в настоящее время рекомендации на сей счет носят кусочный характер и, как правило, не имеют под собой глубокого теоретического обоснования. Не приводятся также сведения о выборе оптимальных соотношений между отдельными частями бункера. Имеющиеся отрывочные исследования данного вопроса (см., например, [16]) свидетельствуют о том, что даже среди применяемых конструктивных форм можно выделить наиболее рациональные с точки зрения минимума поверхности бункера или соотношения жесткостей его отдельных частей. Однако целостное изложение данного вопроса отсутствует.

Таким образом, следует признать, что вопросы назначения размеров конструкции жестких стальных бункеров, а также выбора их рациональной и эффективной геометрической формы разработаны в настоящее время недостаточно. В связи с этим авторами настоящей статьи проводятся активные исследования в данном направлении.

Следующим этапом при проектировании конструкции является сбор нагрузок. При расчете многих типов строительных конструкций он не представляет серьезных затруднений, поскольку достаточно подробно и полно исследован специалистами и зафиксирован в соответствующих нормативных документах.

В отношении жестких стальных бункеров, основной технологической нагрузкой для которых является вес загруженного сыпучего материала, определение величины и характера нагрузок является третьим проблемным вопросом.

Его решение упирается в известную неопределенность задачи нахождения распределения давления сыпучего материала на стенку в замкнутом сосуде переменного объема. Свою долю неопределенности вносит и поведение сыпучего при его истечении из такого сосуда. Кроме этого, в настоящее время недостаточно исследован сам спектр возможных воздействий загружаемого материала на конструкцию. Так, неясно, например, какое влияние на распределение давления оказывает сегрегация сыпучего, его деградация и консолидация.

Отечественная концепция проектирования рекомендует использовать теорию предельного равновесия В. Ренкина. Она представляет собой частный случай теории Ш. Кулона применительно к подпорным стенам и неограниченному массиву грунта, без учета сил трения материала о стенки бункера. Статическое давление сыпучего при этом на определенной глубине от горизонта засыпки раскладывается на две составляющие – нормальную, действующую перпендикулярно поверхности стенки, и касательную, действующую вдоль ее поверхности. Расчетные значения их принимаются линейно зависящими от глубины.

В международной практике преимущество отдается определению давления сыпучего по теории Г. А. Янсена с учетом трения материала о стенки бункера (как для силосов в отечественных рекомендациях), хотя предыдущий подход также используется. Эпюра давления при этом имеет нелинейный вид – давление асимптотически стремится к некоторой постоянной величине. Его значение получается намного меньше соответствующего значения, рассчитанного по теории В. Ренкина, в особенности для глубоких емкостей.

В целом практика эксплуатации стальных емкостей для сыпучих материалов показала, что для невысоких бункеров реальные значения давления находятся между определяемыми по

двум указанным выше теориям, а характер их распределения ближе к теории Г. А. Янсена. Установлено также, что давление сыпучего следует определять дифференцированно для случаев состояния покоя, загрузки и выгрузки. Так, величины нормального давления при загрузке и в состоянии покоя равны, а при разгрузке ниже определяемых по теории Г. А. Янсена; величина же касательного давления при загрузке ниже соответствующей величины в состоянии покоя, определяемых формулой Г. А. Янсена, а при разгрузке существенно возрастает. Эти особенности уже нашли отражение в новых Европейских нормах и учитываются введением целого ряда специальных поправочных коэффициентов.

В этих случаях, как и при определении геометрии конструкции бункера, утрачивается целостность подхода. В этой связи авторы предлагают использовать специально разработанную Л. В. Гячевым теорию давления сыпучих материалов в сосудах типа бункера [17]. Она имеет достаточное экспериментальное обоснование и позволяет с единых теоретических позиций рассматривать процессы статического и динамического поведения сыпучего материала и объяснить такие сложные эффекты, как разрыхление сыпучего вблизи выпускного отверстия или образование сводов внутри емкости.

По мнению авторов, применение данных результатов позволяет открыть перспективы для аналитического описания работы конструкции бункера, являющегося четвертым наиболее сложным и значимым проблемным вопросом в современной концепции проектирования жестких стальных бункеров.

Применяющийся в настоящее время и в отечественной, и в зарубежной проектной практике подход к расчету бункеров предполагает разделение единой пространственной конструкции на отдельные простые элементы с последующим расчетом каждого из них по плоским, во многом упрощенным расчетным схемам, а также осуществление обратного, синтетического перехода к цельной системе на стадии конструирования без какого-либо учета взаимного влияния различных структурных элементов друг на друга.

В соответствии со сложившейся конструктивной схемой (рис. 3) принято выделять три таких элемента: ребро жесткости с примыкающей к нему частью стенки, фрагмент стенки на участке между соседними ребрами жесткости и бункерную балку как наиболее частую конструктивную форму вертикальной части.

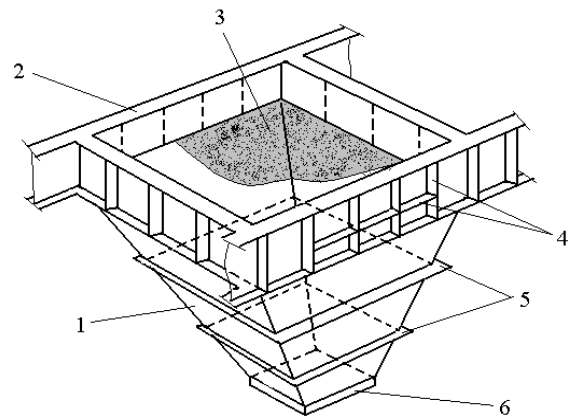


Рис. 3. Конструктивная схема жесткого стального бункера:

- 1 – пирамидальная часть (воронка); 2 – призматическая часть (бункерная балка); 3 – внутренняя футеровка стенок; 4 – ребра жесткости бункерной балки;
- 5 – горизонтальные ребра жесткости воронки;
- 6 – выпускное отверстие

По своим геометрическим размерам бункер не относится к разряду протяженных конструкций, в которых возможно выделить определенную часть, рассчитываемую в дальнейшем как плоскую систему. Поэтому такой подход в классическом его понимании не может быть с абсолютной достоверностью применен в данном случае.

Решение вопроса об определении давления на стенки конструкции бункера позволяет применить для выяснения характера напряженно-деформированного состояния с высокой степенью достоверности один из современных численных методов вычислительно математики – метод конечных элементов. Основные результаты, полученный авторами при этом, изложены в их работах [3; 18–20].

Пятый проблемный вопрос современной концепции проектирования жестких стальных бункеров связан с необходимостью изменения существующего конструктивного решения таких емкостей в сторону повышения их долговечности и ремонтпригодности. Как видно из рис. 3, конструктивно стенки вертикальной части и воронки образованы стальными листами относительно небольшой толщины (4...16 мм), формирующими обшивку бункера, которые для возможности восприятия давления от сыпучего материала подкрепляются ребрами жесткости из уголков или тавров. С внутренней стороны стенки бункера футеруются для предупреждения их абразивного износа сыпучим материалом при его загрузке-выгрузке и температурного перегрева, если загружаемый материал нагрет. В практике применяют самые разнообраз-

ные типы футеровки, начиная от самофутеровки и заканчивая постановкой специальных многослойных пакетов противоударного типа.

Все элементы конструкции стального бункера соединяются сваркой, что приводит к исключительно большой общей протяженности сварных швов. Кроме этого, ребра жесткости создают дополнительные поверхности, способствующие развитию очагов интенсивной коррозии в условиях действующего промышленного предприятия, особенно при работе с сыпучими материалами, способными выделять сернистые соединения. Еще одним недостатком существующего конструктивного решения такого типа емкостей является их невысокая ремонтпригодность, связанная с необходимостью в случае проведения обследований либо ремонтных работ проводить работы и по откреплению и обратному прикреплению элементов футеровки. Исключительно неудобно при значительных габаритах конструкции довольно точно выполнять состыковку отдельных ее частей и элементов друг с другом.

Работа над устранением этих, а также ряда других более мелких недостатков систематически проводится авторами настоящей статьи.

И последний, шестой проблемный вопрос связан с недостаточной изученностью особенностей реальной эксплуатации стальных бункеров. К настоящему времени накоплено очень незначительное количество информации, особенно задокументированной, касающейся хотя бы наиболее важных аспектов работы конструкций такого типа. К ним относятся данные о периодичности и интенсивности загрузки применительно к различным отраслям промышленности и сельского хозяйства, необходимые для оценки усталостной прочности конструкции, данные об интенсивности износа футеровки и элементов бункера, в первую очередь коррозионного, а также данные об имеющих место в практике эксплуатации динамических воздействиях на конструкцию бункера, по типу ударных или вибрационных, которые позволили бы разработать мероприятия по снижению металлоемкости и повышению надежности жестких стальных бункеров.

Таким образом, выделены шесть основных проблемных вопросов современной концепции проектирования жестких стальных бункеров и в более широком понимании – емкостей для сыпучих материалов. Конечно, все они не являются изолированными, а теснейшим образом взаимосвязаны и взаимозависимы. Распутывание этого проблемного клубка должно быть прове-

дено не на основе решения отдельных частных задач расчета и конструирования стальных бункеров с копированием и заимствованиями решений из соседних областей теории строительных конструкций, а на основе детального и всестороннего изучения всех специфических особенностей бункера и дальнейшего учета всего перечисленного выше набора вопросов и задач при их обобщении и систематизации. Только такой подход, по мнению авторов, позволит создать единую целостную теорию формообразования жестких стальных бункеров.

В заключение отметим, что авторы настоящей статьи в течение ряда лет занимаются разработкой затронутой тематики и полученные ими результаты подтверждают правильность выбранной концепции работы. По их мнению, дальнейшая разработка подобной теории формообразования бункеров позволила бы получить не только серьезный экономический эффект, но и дала бы возможность создавать более безопасные сооружения, что намного важнее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лессиг Е. И., Лилеев А. Ф., Соколов А. Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970. – 488 с.
2. Развитие металлических конструкций: Работы школы Н. С. Стрелецкого / В. В. Кузнецов, Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий и др. – М.: Стройиздат, 1987. – 576 с.
3. Банников Д. О., Казакевич М. И. Расчет пирамидально-призматических бункеров методом конечных элементов. – Д.: Наука и образование, 2003. – 150 с.
4. Ягофаров Х. Гибкие бункера. – М.: Стройиздат, 1980. – 168 с.
5. Ягофаров Х. Стальные бункера как пространственные системы: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Уральская госуд. акад. путей сообщ. – Екатеринбург, 1998. – 47 с.
6. ДБН В.2.2-8-98. Підприємства, будівлі та споруди по зберіганню та переробці зерна. – Введ. 01.07.98. – Вид. офіц. – К.: Держбуд України, 1988. – 41 с. – Укр. та рос. мовами.
7. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. – Введ. 01.01.87. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
8. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров / Ленпромстройпроект. – М.: Стройиздат, 1983. – 200 с.
9. Справочник проектировщика инженерных сооружений / Под ред. Д. А. Коршунова. – К.: Будівельник, 1988. – 352 с.
10. Справочник проектировщика. Металлические конструкции: В 3 т. / Под ред. В. В. Кузнецова

- ва. – Т. 2: Стальные конструкции зданий и сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 526 с.
11. Криворожский государственный горно-металлургический комбинат «Криворожсталь». Доменная печь № 9. Бункерная эстакада. Обследование и оценка технического состояния металлоконструкций: Отчет о НИР, в 3 т. / ОАО «Проектный институт «Днепрпроектстальконструкция». – Д., 1997.
 12. Bannikov D., Kazakevitch M. Features of Failures of Steel Bunkers (of pyramidally-prismatic type) // Proc. of 10th Polish-Ukrainian sem. «Theoretical Foundations of Civil Engineering». – Warsaw (Poland), 2002. – Vol. II. – P. 650–657.
 13. Ягофаров Х. Стальной пирамидально-призматический бункер как пространственная система: Приложение к дис... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Уральская госуд. акад. путей сообщ. – Екатеринбург: УрГАПС, 1998. – 315 с. (рукопись).
 14. ENV 1991-4. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 4: Actions in silos and tanks. – CEN, 1994.
 15. Structural Engineering Handbook / Edited by Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer. – 4th ed. – McGraw-Hill, 1997. – 624 p.
 16. Ягофаров Х. Размеры пирамидально-призматического бункера минимального объема // Изв. вузов. Сер. стр-во. – 1997. – № 2. – С. 114–116.
 17. Гячев Л. В. Основы теории бункеров. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. – 312 с.
 18. Казакевич М. И., Кострица С. А., Банников Д. О. Эффективность расположения горизонтальных ребер жесткости бункеров // Сб. научн. работ: Ресурсосберегающие технологии в транспортном и гидротехническом строительстве. Строительство. – Д.: Арт-Пресс. – 1998. – Вып. 5. – С. 98–104.
 19. Банников Д. О., Кострица С. А. Анализ напряженно-деформированного состояния стального пирамидального бункера // Proc. of 6th Polish-Ukrainian sem. «Theoretical Foundations of Civil Engineering» - Warsaw (Poland). – 1998. – P. 409–414.
 20. Банников Д. О. Прочностные и динамические свойства пирамидально-призматических бункеров для сыпучих материалов // Вісник ДонДАБА: Композиційні матеріали для будівництва. – Макіївка: ДонДАБА. – 2001. – Вип. 2001-1(26). – С. 116–121.

Поступила в редколлегия 16.10.03.

В. Е. ВОЛКОВА (ДИИТ)

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМ С НЕСИММЕТРИЧНЫМИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫМИ УПРУГИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

При теоретическому дослідженні коливаний виникає необхідність побудови математичної моделі. Для цього використовують дані технічних креслень, описів, а також іншу документацію, яка містить інформацію про структуру і значення окремих параметрів. Проте в деяких випадках ця інформація може бути недостатньою. Ефективним при цьому виявляється використання методів ідентифікації систем. Вони полягають у побудові математичної моделі об'єкта по експериментальних записах.

При теоретическом исследовании колебаний возникает необходимость построения математической модели. Для этого используют данные технических чертежей, описаний, а также другой документации о структуре и значениях отдельных параметров. Однако в некоторых случаях эта информация может быть недостаточной. Эффективным при этом оказывается использование методов идентификации систем. Они заключаются в построении математической модели объекта по экспериментальным записям.

In a theoretical study of oscillations the necessity of building a mathematical model arises. For this purpose the data of technical drawings, descriptions, and also other documentation about the structure and meaning of separate parameters, will be used. However in some cases this information can be insufficient. An effective solution in this case can be usage of systems identification methods. They consist in construction of a mathematical model of the object, basing on experimental records.

Качественное исследование поведения динамической системы сводится к изучению поведения траекторий в фазовом пространстве. Основы качественной теории исследования динамических процессов были созданы Пуанкаре. Исключительная роль в развитии качественных методов исследования динамических систем принадлежит А. А. Андронову [1], Е. А. Леонтовичу, И. И. Гордону, А. М. Ляпунову. Основной задачей классической теории качественного исследования является определение динамических свойств систем без получения замкнутого аналитического решения. С этой целью широко использовались фазовые траектории на плоскости (y, \dot{y}) .

Отметим, что фазовое пространство динамических систем многомерно. Возможен и иной выбор параметров фазовых плоскостей. Впервые попытка применить фазовые траектории на плоскостях (y, \ddot{y}) и (\dot{y}, \ddot{y}) к исследованию динамических систем была сделана в монографии [2]. Как следует из полученных результатов, фазовые траектории на плоскости (y, \ddot{y}) могут быть весьма эффективно использованы для идентификации динамических систем. В монографии [3] представлены результаты качественного исследования колебаний консервативных систем, имеющих нелинейные

диссипативные и упругие характеристики различных видов.

Целью данной работы является изучение динамического поведения несимметричных систем с кусочно-линейной упругой характеристикой, получение временных процессов и фазовых траекторий (y, \ddot{y}) и (\dot{y}, \ddot{y}) для различных режимов колебаний и выявление их особенностей.

Применение фазовых диаграмм к исследованию колебательных процессов

Наибольший интерес представляет фазовая траектория на плоскости (y, \ddot{y}) . Это связано с тем, что энергетические критерии на ней интерпретируются наиболее наглядно. Кроме того, зависимость $\ddot{y}(y)$ обратно симметрична относительно оси y к графику изменения упругих свойств. Например, на рис. 1. представлены графики изменения упругой характеристики и ускорения для системы с «люфтом». Именно фазовые траектории $\ddot{y}(y)$ позволяют установить вид и уровень нелинейности системы.

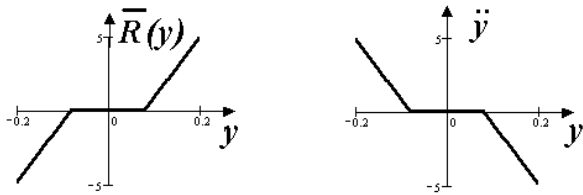


Рис. 1. Графики изменения упругих свойств и ускорения системы с «люфтом»

Известно, что ускорения точек более чувствительны к отклонениям колебаний от гармонических. Сопоставим линейную систему с нелинейной симметричной системой с двумя потенциальными ямами. Заметим, что при некоторых режимах колебаний на частоте возмущения осциллограммы этих систем подобны, а акселерограммы различны. Так, акселерограммы линейной системы имеют вид гармонического процесса, а несимметричной системы с

двумя потенциальными ямами – пилообразный вид [2].

Основная трудность построения фазовых траекторий $\dot{y}(y)$ и $\ddot{y}(y)$ состоит в необходимости исключить параметр времени t из соответствующих зависимостей. Аналитически выполнить эту операцию не всегда возможно. Большинство измерительных устройств регистрируют изменения виброперемещений, виброскоростей и виброускорений точек исследуемых систем во времени. Санитарные и технологические нормы вносят ограничения на значения именно этих параметров. Принимая последовательно соответствующие пары значений параметров $y(t)$ и $\dot{y}(t)$ или $y(t)$ и $\ddot{y}(t)$, можно получить данные фазовые характеристики (рис. 2).

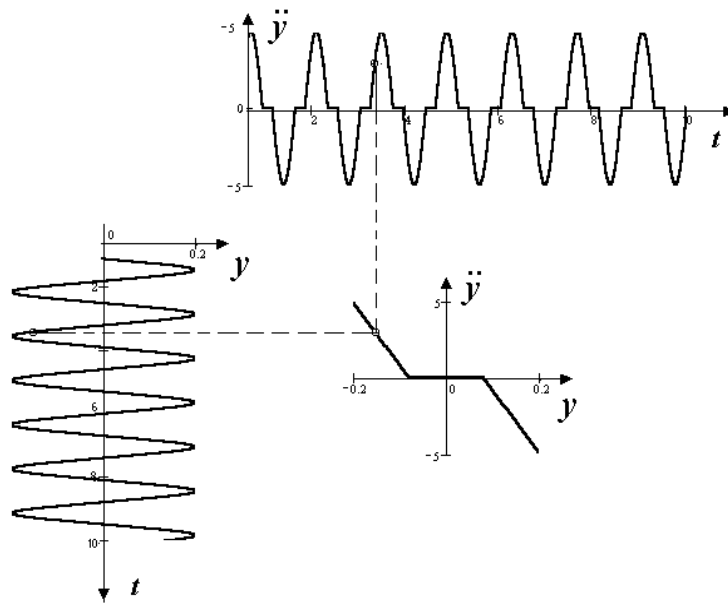


Рис. 2. Построение фазовой траектории $\ddot{y}(y)$

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний систем с несимметричной кусочно-линейной характеристикой

Пусть дифференциальное уравнение вынужденных колебаний имеет вид

$$y + \varepsilon \dot{y} + R(y) = F \cos \omega t, \quad (1)$$

где y – обобщенная координата; $R(y)$ – упругая характеристика; ε – коэффициент трения; F , ω – параметры внешнего возмущения;

Предположим, что упругая характеристика является несимметричной и изменяется по закону

$$R(y) = \begin{cases} \alpha_1 y, & y \leq 0; \\ \alpha_2 y, & y > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Известно, что частота свободных колебаний динамических систем с билинейной упругой характеристикой не зависит от начальных условий. Она равна

$$\omega_0 = \frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2},$$

где $\omega_1 = \sqrt{\alpha_1}$ и $\omega_2 = \sqrt{\alpha_2}$.

Несмотря на этот факт, возможно установление режимов суб- и ультрагармонических колебаний. Эти колебания формируются на

основе свободных колебаний системы, которые поддерживаются внешней вынуждающей силой (рис. 3).

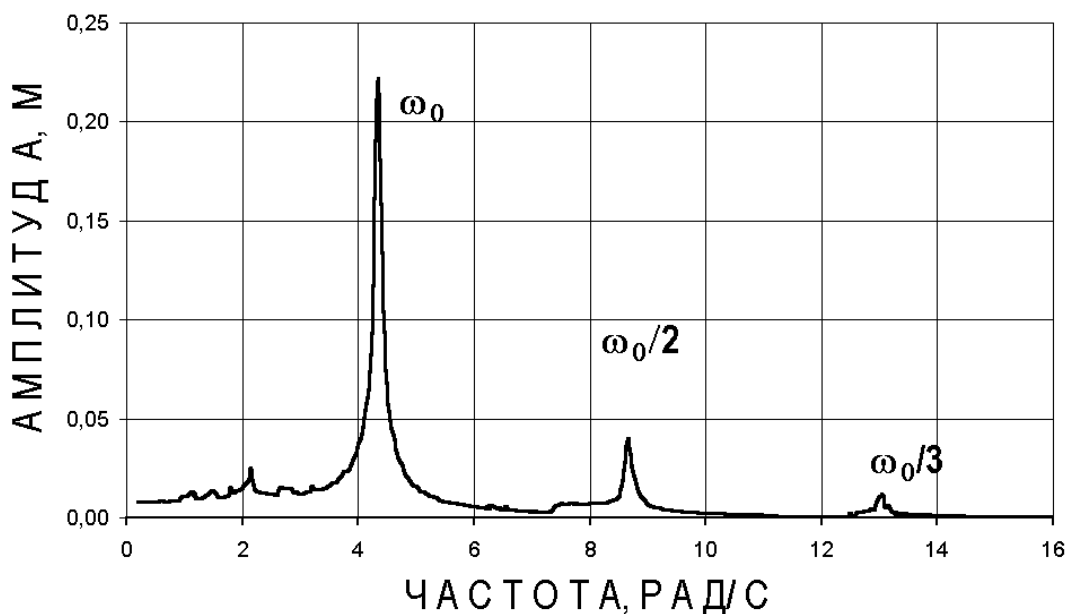


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика вынужденных колебаний несимметричной системы с кусочно-линейной упругой характеристикой

В отличие от симметричных систем с кусочно-линейными упругими характеристиками, здесь реализуются устойчивые режимы суб- ($\omega_0/2$) и ультрагармонических ($2\omega_0$; $4\omega_0$) колебаний на четных гармониках.

Методика гибридного моделирования

Гибридные вычислительные комплексы (ГВК) представляют собой синтез аналоговых вычислительных комплекса АСС-31 и персонального компьютера. Исследование систем вынужденных колебаний несимметричной системы с кусочно-линейной упругой характеристикой было выполнено на ГВК, созданном на основе персонального компьютера и аналогового вычислительного комплекса. Для генерирования внешнего возмущения был использован генератор сигналов специальной формы Г6-26, максимальный выходной сигнал которого 10 В, динамический диапазон 0,001–10 В, диапазон частот 0.001-10 кГц. Для визуального наблюдения вычислительного процесса (электрических сигналов с выходов решающих усилителей) использовался двухлучевой осциллограф С1-99. Результаты интегрирования нелинейного дифференциального уравнения передавались посредством интерфейсных устройств

в персональный компьютер. Выходные сигналы подавались с соответствующих выходов электронных схем на вход масштабирующего усилителя.

Информация, вводимая в компьютер, хранилась на жестком диске в виде текстового файла. Спектральные характеристики исследуемых колебательных процессов были получены с помощью стандартной программы быстрого преобразования Фурье. Для графического построения полученных зависимостей был использован стандартный графический программный комплекс.

Анализ полученных результатов

По сравнению с системой с линейной упругой характеристикой, исследуемая система имеет большое число резонансных частотных диапазонов, в которых развиваются колебания на частоте возмущения, а также колебания с другими более высокими или низкими частотами.

Параметры динамической системы (1) приняты следующими: $\varepsilon = 0,1 \text{ с}^{-1}$; $\alpha_1 = 10,8 \text{ с}^{-1}$; $\alpha_2 = 40,8 \text{ с}^{-1}$; $F = 0,15 \text{ м/с}^2$.

На рис. 3 представлена амплитудно-частотная характеристика билинейной системы. Скелетная кривая данной системы есть прямая на частоте $\omega_0 = 4,33$ рад/с. На рис. 4 и 5 представлены временные процессы, фазовые траек-

тории на плоскостях $(y, \dot{y}), (y, \ddot{y}), (\dot{y}, \ddot{y})$ и спектральные характеристики для колебаний на частоте основного тона $\omega \approx \omega_0$, а также для субгармонических колебаний на частотах $\omega_0/2$ и $\omega_0/3$.

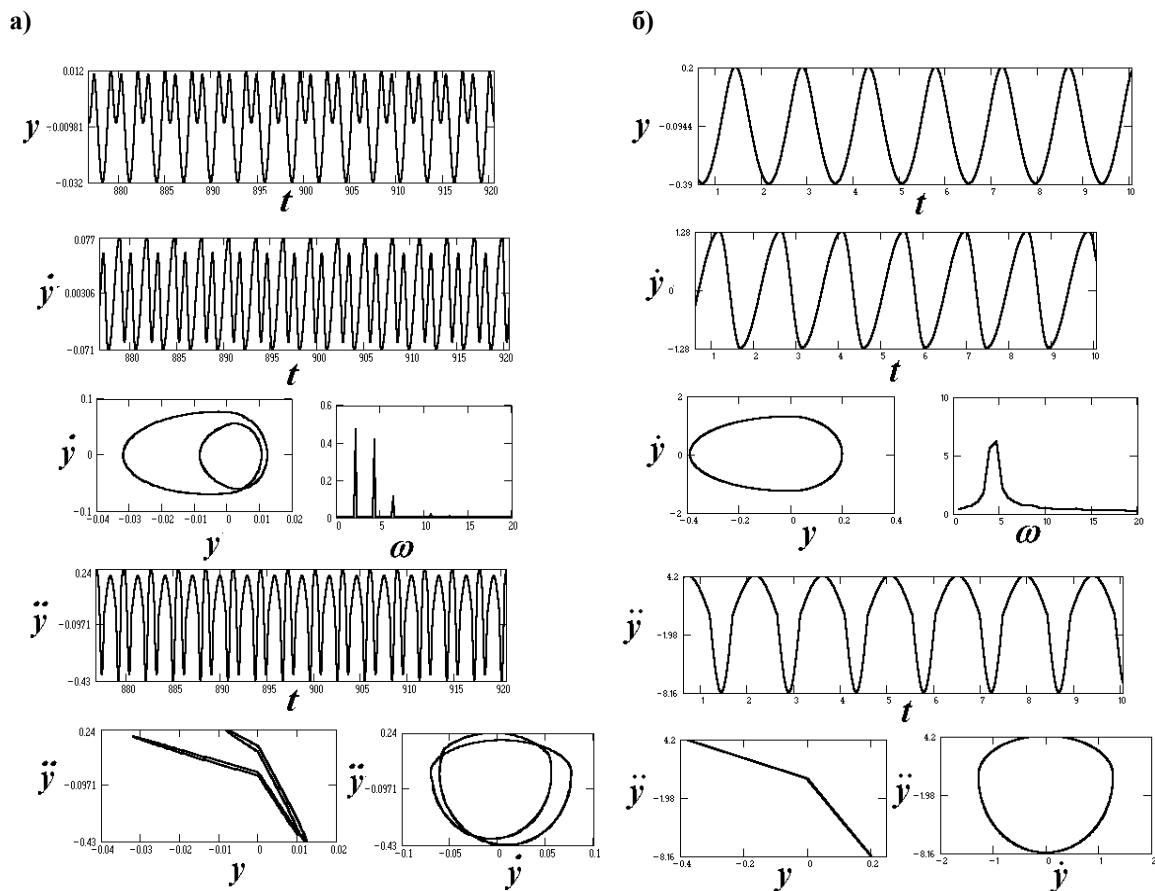


Рис. 4. Временные процессы, спектральные характеристики и фазовые траектории билинейной системы: а – ультрагармонические колебания на частоте $2\omega_0$; б – колебания на основного тона

В диапазоне частот $\omega < \omega_0$ ультрагармонические колебания на частотах $2\omega_0; 3\omega_0; 4\omega_0$, амплитуды которых невелики, накладываются на колебания на частоте основного тона (рис. 4, а).

При дальнейшем увеличении частоты $\omega \approx \omega_0$ устанавливаются резонансные колебания на частоте внешней вынуждающей силы (рис. 4, б). Для этого диапазона частот времен-

ные процессы $y(t)$ и $\dot{y}(t)$ по виду близки к моногармоническим процессам.

В диапазоне частот $\omega > \omega_0$ возникают резонансные субгармонические колебания на частотах $\omega_0/2$ и $\omega_0/3$ (рис. 5). Амплитуды резонансных субгармонических колебаний соизмеримы с амплитудами резонансных колебаний основного тона.

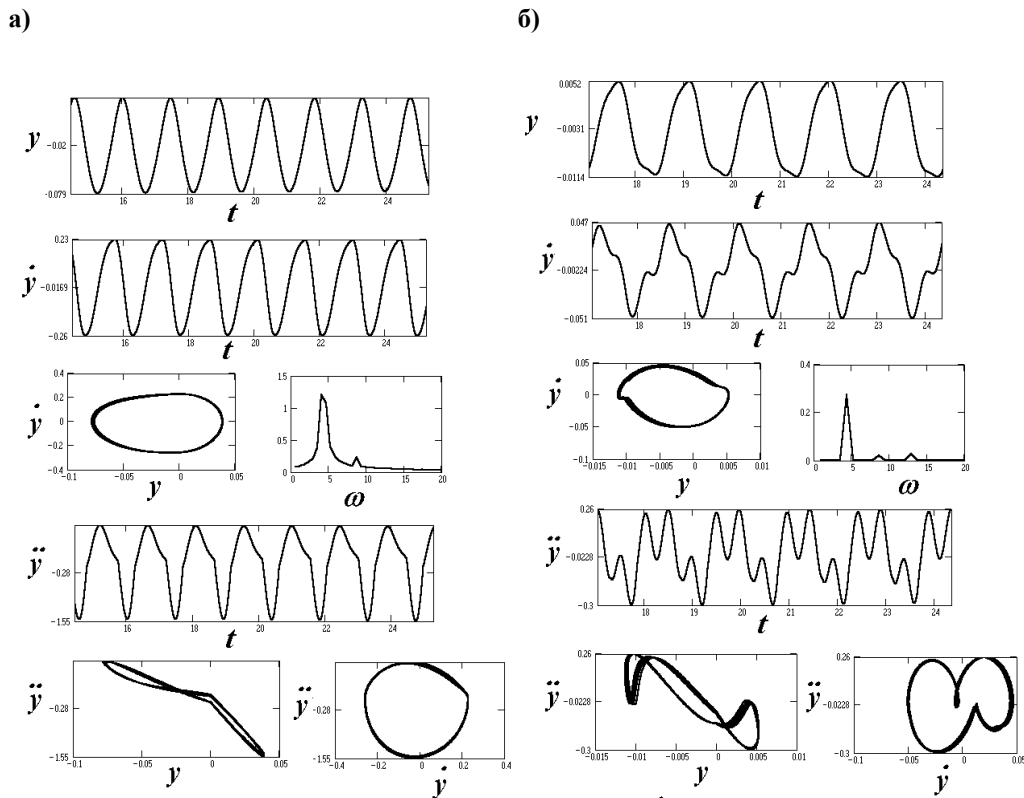


Рис. 5. Временные процессы, спектральные характеристики и фазовые траектории билинейной системы: *a* – субгармонические колебания на частоте $\omega_0/2$; *b* – субгармонические колебания на частоте $\omega_0/3$

Заключение

Развитие качественных методов исследования динамических систем, предложенных автором, является эффективным методом анализа и идентификации динамических систем. Одновременное использование из всех трех типов сигналов, а именно перемещение, скорость и ускорение позволяет значительно расширить возможности традиционных методов исследования.

В отличие от существующих асимптотических и стохастических методов идентификации динамических систем, использование предложенной методики не сопряжено с использованием значительного количества вычислитель-

ных процедур, а также имеет ряд преимуществ, при исследовании разрывных колебаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андронов А. А., Леонтович Е. А., Гордон И. И., Майер А. Г. Качественная теория динамических систем второго порядка. – М.: Гл. изд-во. Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1966. – 568 с.
2. Казакевич М. И., Волкова В. Е. Динамика систем с двумя потенциальными ямами. – Д.: Арт-Пресс, 2000. – 160 с.
3. Казакевич М. И., Волкова В. Е. Фазовые траектории нелинейных динамических систем. Атлас. – Д.: Наука и образование, 2002. – 94 с.
4. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти томах. т. 2. – М.: Машиностроение, 1979. – 315 с.

Поступила в редколлегию 30.09.03.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕМ В АКТИВИРОВАННОМ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ БЕТОНЕ

У статті подані результати експериментально-теоретичних досліджень процесів структуроутворення активованої цементної матриці бетону. Показана можливість одержання бетонів з проектними експлуатаційними властивостями.

В статье представлены результаты экспериментально-теоретических исследований процессов структурообразования активированной цементной матрицы бетона. Показана возможность получения бетонов с проектными эксплуатационными свойствами.

The article presents the results of experimental and theoretical studies of structure-forming processes in activated cement matrix of concrete. The possibility of obtaining concretes with rated operational properties has been demonstrated.

Особую актуальность в настоящий период приобретает разработка высокоэффективной технологии гидротехнических бетонов, предусматривающей исключение тепловой обработки при изготовлении изделий и конструкций. При этом становится приоритетным исследование механизма ускорения твердения бетона с образованием упорядоченной пространственной структуры его цементной матрицы долговечного бетона. В исследованиях была поставлена задача обеспечения 70 % прочности бетона нормального твердения уже к двухсуточному возрасту.

Поставленные задачи могут быть решены при введении в состав бетонной смеси активированной цементной системы, поскольку, как показали проведенные исследования, такая система, подвергнутая физико-химической активации с введением химически активных компонентов, способна обеспечить требуемые проектные характеристики бетонов специального назначения.

Под оптимизацией понимается создание благоприятных условий для химического взаимодействия клинкерных минералов с водой, обеспечивающих получение бетона с заданными свойствами. Наиболее просто интенсификация процесса гидратации и оптимизация структурообразования цементных систем производится с помощью добавок полифункционального действия. Такие добавки, интенсифицирующие процесс гидратации, воздействующие на морфологию продуктов гидратации и процесс их структурообразования, являются комплексными с полифункциональными свойствами. Используемые органические пластифика-

торы требуют дополнения специальными минеральными составляющими, химически взаимодействующими с клинкерными минералами.

Наиболее уязвимой частью бетонного конгломерата является его цементирующая матрица. Изучение зарубежного опыта показало, что усилия исследователей направлены на повышение физико-технических характеристик именно цементной матрицы. Это обеспечивается использованием особо быстротвердеющих цементов высокой марки или домолом цемента до удельной поверхности 600 м²/кг и выше, а также различных добавок, допускающих предельно возможное снижение водоцементного отношения. В частности, широко используется практика применения различных суперпластификаторов. Как правило, это достигается сочетанием изложенных технологических мероприятий с введением в состав бетона высокодисперсных микронаполнителей с аморфизованной поверхностью, что должно обеспечить связывание гидроксида кальция с кремнеземной составляющей микронаполнителя с целью увеличения содержания низкоосновных гидросиликатов кальция как способа повышения стойкости и долговечности бетона. Однако химическое взаимодействие аморфизованного кремнезема с новообразованиями вяжущего проявлялось в весьма малой степени. Высокий расход суперпластификатора на 1 м³ бетона наряду с высокой его себестоимостью приводит и к снижению эксплуатационных свойств материала.

Обобщая накопленный опыт разработки технологии бетонов специального назначения,

можно прийти к заключению, что оптимизация свойств бетонов действительно возможна при увеличении вяжущего потенциала цемента, повышении химической эффективности микронаполнителя и развитии высокого пластифицирующего эффекта в активированном цементном тесте. Управление совокупностью этих сложных технологических приемов являлось задачей, не решенной до настоящего времени.

Анализ опытных данных позволяет сделать вывод, что до сих пор отсутствовало сочетание высокоинтенсивных физических способов активации с химическими. Очевидно, что использование такого комплекса активационных воздействий должно привести к созданию бетонов с заданными свойствами [1].

Считалось, что активация проявляется при использовании турбулентности в смесителе (например, исследования Ю. Я. Штаермана, В. И. Соломатова, Тахер-Шаха). Как известно, турбулентность развивается при условии $Re \geq Re_{кр}$, определяющем динамические характеристики потока. Однако, как установлено исследованиями [2], при любой интенсивности турбулентного потока у поверхности активируемых частиц сохраняется ламинарный слой. Далее других в этом вопросе пошел И. А. Ахвердов, использовавший ультразвуковое воздействие на цементные суспензии. П. Кларк предлагал глубокий домол сухого цемента с запайкой его в металлические емкости.

Недостаточная степень активации в предложенных способах, их нетехнологичность потребовали разработки принципиально нового, технологически простого физико-химического способа активации. При этом существенно изменяется характер активации. Процесс активации вяжущего и микронаполнителя предполагает их синхронное воздействие друг на друга. На основании результатов исследований кинетики физико-химических взаимодействий жидкой фазы с цементными частицами в процессе активации установлено существование порогового значения интенсивности активации цементной системы [3]. Это не достигалось в отмеченных ранее исследованиях. Для принципиально нового уровня активации установлен критерий порогового значения интенсивности активации, соответствующий порогу кавитации [4].

Физическая часть разработанного способа активации цементных систем состоит в создании условий для развития кавитационных явлений в специальном реакторе-активаторе. Кавитационный процесс приводит к триаде акти-

вационных воздействий на цементную систему: к диспергированию вяжущего и микронаполнителя, активизации их химического взаимодействия и изменению структуры и морфологии новообразований, а также переводу жидкой фазы на высший уровень энергетического состояния.

Химическая часть заключается во введении в цементное тесто в процессе активации специального органо-минерального комплекса. Такой комплекс способен управлять процессами гидратации и структурообразования вяжущего, проявляя регулирующее действие в определенные моменты, отражаемые на графике процесса структурообразования сингулярными точками. Введение органо-минерального комплекса в цементную систему бетона для ремонта и восстановления искусственных транспортных сооружений значительно улучшает физико-механические и технологические характеристики покрытия, исключая все отрицательные стороны существующих методов пластификации бетонных смесей.

Механизм действия ОМК на цементную систему бетона основан на принципе синергизма. В процессе приготовления органо-минерального комплекса молекулы органического пластификатора оказываются привитыми к частицам минеральной составляющей комплекса, на поверхности минеральных зерен образуется коллоидно-адсорбционный слой органической составляющей комплекса. В результате адсорбционные слои, будучи весьма гидрофильными, обеспечивают гидродинамическую смазку между частицами и эффект пластификации, удерживая вблизи располагающихся рядом частиц цемента значительное количество молекул воды, частично связанной с поверхностью непосредственно молекулярными силами и частично заключенной в адсорбционном слое между молекулами органической и минеральной составляющей комплекса. В то же время, при введении органо-минерального комплекса в цементное тесто адсорбционные слои не затрудняют доступ воды к минералам цемента, в отличие от традиционного способа пластификации, когда молекулы пластификатора оказывают замедляющее действие на процессы химического взаимодействия между цементом и водой, а, следовательно, и процесс твердения в целом.

Введение в цементное тесто в процессе физико-химической активации органо-минерального комплекса позволяет, изменяя природу поверхности как цементных частиц, так и час-

тиц минеральной составляющей (гидрофильность, заряд, строение двойного электрического слоя, концентрация поверхностных активированных ансамблей), в широких пределах активизировать процесс структурообразования цементной системы с возможностью управления формированием микроструктуры цементного камня.

Действие органоминерального комплекса на процесс формирования коагуляционной структуры цементного теста осуществляется благодаря избирательной адсорбции ионов и ассоциатов из жидкой фазы, изменению площади контактов в пространственной пластичной структуре, направленности роста кристаллов. В матричной коагуляционно-кристаллизационной структуре активированного цементного камня наследуются особенности взаиморасположения агрегатных структур, тип пористости и дисперсность. Вместе с тем, минеральная часть ОМК является химически активным компонентом – дополнительным источником гидратных фаз, способствующих упрочнению вяжущей системы.

Доказано, что физико-химическая активация цементной системы производится при столкновении встречных потоков материальных частиц, расположенных в жидкой среде. Пороговое значение входной скорости потоков активируемой цементной системы обеспечивает выход материальных струй из форсунок, диаметр которых в 2,5–3 раза меньше диаметра подающей трубы, со скоростью в 6–7 раз большей первоначальной. При этом, как показали эксперименты, при скорости вылета встречных струй частиц цемента и микронаполнителя около 1/2 звуковой они образуют два фронта ударных волн. Это происходит вследствие скачка уплотнения материальной среды, в которой возникает переходная область, распространяющаяся далее с околосвуковой скоростью. Наложение ударных волн в жидкой среде приводит к образованию зон положительного и отрицательного давления. При этом образуется пульсирующее, знакопеременное поле ультразвуковой частоты.

Пульсирующее поле ультразвукового давления в жидкой среде затопленных струй интенсифицирует спонтанное образование кавитационного пространства вокруг частиц встречных потоков. При столкновении струй в месте контакта обеих частиц образуются кавитационные пузырьки, возникновению которых способствуют кавитационные зародыши: трещины, микропоры, цеолитные поры цементных частиц, заполненные газовой фазой. Захлопывание кавитационных пузырьков приводит к образованию микрокаверн на минеральных частицах, интенсифицируя процесс гидратации и способствуя расщеплению длинноцепочечных комплексов пластификатора. Последнее обеспечивает суперпластифицирующий эффект при использовании обычных пластификаторов. Знакопеременные нагрузки, вызываемые кавитационными процессами, приводят к диспергированию цементных частиц от 20–50 мкм до 4–9 мкм за время 5–7 мин при одновременной активации поверхности минеральных частиц, сопровождающейся химическим взаимодействием. Произведенное диспергирование вяжущего вскрывает центральные силикатные минералы цемента, что существенно изменяет состав новообразований вяжущего.

Совокупность указанных процессов вызывает мощное кавитационное воздействие на частицы вяжущего и микронаполнителя. Этому способствует также развитие резонансных явлений в результате совпадения частот вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний диспергируемых частиц. Созданный активационный импульс значительно превышает порог активации.

В исследовании механизма гидратации активированных цементных систем одним из основных вопросов является изучение кинетических параметров процесса структурообразования, к которым относятся количество химически связанной воды, а также степень гидратации. Результаты определения отмеченных параметров приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Содержание химически связанной воды в цементном камне бетона (портландцемент М 500)

Вид бетона	Содержание химически связанной воды, %, в возрасте, сут						
	1	3	7	28	90	180	360
Обычный	6,8	9,4	12,1	12,7	13,9	14,4	15,3
На активированном вяжущем	11,4	13,9	16,8	17,7	17,9	18,8	19,2

**Изменение степени гидратации цементного камня в гидротехническом бетоне
(портландцемент М 500)**

Вид бетона	Степень гидратации, %, в возрасте, сут					
	1	3	7	28	180	360
Обычный	23	28	34	39	46	49
На активированном вяжущем	39	44	52	59	67	71

Особо ранняя стадия гидратации минералов портландцементного клинкера представляется как поэтапное превращение исходного вещества в промежуточное, структура которого приближается к структуре конечного продукта. Иными словами, кристаллические структуры мономинералов, вступающих в реакцию, и новообразований должны быть родственными.

Последующие электронно-микроскопические исследования микроструктуры кальциевых соединений цементного теста и процессов структурообразования обосновывают картину гидратации, осуществляющейся путем проникновения жидкости внутрь минеральных зерен цементного клинкера с последующей локальной топомхимической реакцией.

Электронно-микроскопические исследования показывают, что для цементного камня обычного бетона характерна структура с преимущественным содержанием коллоидных частиц, перемежающихся в соседних зонах с ясно видимыми кристаллообразованиями в виде кубов, тетрагональных призм, пластинок и игл. Субмикроструктурные гидросиликаты располагаются небольшими островками и соединены между собой тонковолокнистыми пакетами.

При исследовании особенностей процессов гидратации и структурообразования активированных цементных систем установлена ведущая роль гидросульфатоалюминатных новообразований при формировании пространственной структуры цементной матрицы бетона. Поэтому проведены исследования влияния различного количества сульфата кальция на процессы гидратации активированной цементной системы, поскольку гидросульфатоалюминаты кальция являются наименее стабильными новообразованиями.

О роли гипса в процессах гидратации цементных систем существуют противоречивые мнения. Ускорение ранней гидратации C_3S в

присутствии добавок сульфата кальция отмечается в работах [1; 2]. Авторами [3] установлено, что повышение дозировки гипса приводит к некоторому замедлению схватывания цемента с одновременным увеличением скорости нарастания прочности в ранние сроки твердения.

В исследованиях [4; 5] показано увеличение степени гидратации C_2S в цементе в присутствии гипса. Авторы [5] утверждают, что от добавки гипса в цемент удельная поверхность новообразований не претерпевает изменений в сравнении с безгипсовым цементом. Присутствие сульфата кальция заметно уменьшает количество волокнистых гидратов с одновременным увеличением количества слоистых гидратов.

При гидратации в нормальных условиях трехкальциевого алюмината в присутствии гипса легко образуется эттрингит независимо от наличия или отсутствия в системе CaO или $Ca(OH)_2$ [6]. Эттрингит предотвращает быструю гидратацию трехкальциевого алюмината путем образования защитного слоя. В этом случае происходит замедленная гидратация, продолжительность которой возрастает при увеличении добавки гипса.

Результаты исследований цементных суспензий показали, что в процессе гидратации четырехкальциевого алюмоферрита C_4AF в присутствии гипса или одновременно гипса и гидроксида кальция состав кристаллизующихся новообразований зависит от молярного отношения введенного гипса и четырехкальциевого алюмоферрита n . При $n \geq 4$ основным продуктом реакции является трехсульфатная форма гидросульфатоалюмоферрита кальция



($x + y = 1$; y в растворе гипса равен 0,35, в растворе гипса и гидроксида кальция – 0,5). При $n \geq 1,3$ на первых этапах гидратации образуется трехсульфатная форма гидросульфатоалюмоферрита кальция. В процессе дальнейшей гидрата-

ции C_4AF после полного химического связывания гипса трехсульфатная форма переходит в моносulfатную форму гидросульфoалюмоферрита кальция, а затем кристаллизуется четырехкальциевый гидроалюмоферрит и твердый раствор этих соединений. Гидроксид кальция замедляет кинетику взаимодействия C_4AF с гипсом и соответственно фазовые переходы, связанные с разложением трехсульфатной формы гидросульфoалюмоферрита кальция. На развитие прочности цементного камня в условиях продолжающейся гидратации и особенно в более поздние сроки твердения существенно влияют превращения, протекающие в сульфатсодержащих фазах цементного камня.

Исследованиями [9] установлен эффект перекристаллизации первичного эттрингита в моногидросульфoалюминат кальция после связывания всего гипса. При этом на рентгенограм-

мах цементного камня отмечается появление дифракционных пиков моногидросульфoалюмината кальция (линии $d = 8,9$ и $4,45 \cdot 10^{-10}$ м) с одновременным понижением интенсивности линий эттрингита ($d = 9,73$ и $5,61 \cdot 10^{-10}$ м). Скорость превращения первичного эттрингита в моносulfатную форму в условиях продолжающейся гидратации при прочих равных условиях определяется минералогическим составом цемента, в частности, содержанием в клинкере C_3A .

С целью исследования влияния минералогического состава клинкера и содержания гипса на процессы гидратoобразования в различных условиях исследованы портландцементные клинкеры различного минералогического состава (табл. 3).

Таблица 3

Минералогический состав портландцементных клинкеров

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	C_3S/C_3A
49	29	14	8	3,5
53	26	10	11	5,3
57	22	8	13	7,1
59	19	11	11	5,4
61	21	5	13	12,2

По результатам исследований установлено, что в процессе физико-химической активации создаются условия для образования моносulfатной формы гидросульфoалюмината кальция, способствуя возникновению пространственной структуры, не проявляющей в более поздние сроки деструктивных явлений вследствие перекристаллизации тригидросульфoалюмината кальция.

Относительно гидратации четырехкальциевого алюмоферрита в присутствии гипса следует отметить, что увеличение количества $CaSO_4$, сопровождающееся уменьшением удельной поверхности новообразований, вызывает прогрессирующее замедление вторичной экзотермической реакции.

Доказано, что ион SO_4^{2-} гипса замещает ион SiO_4^{4-} гидросиликата с выходом некоторого количества ионов SiO_4^{4-} в жидкую фазу. Справедливость этого положения с теоретических позиций обосновывается не только одинаковым ионным радиусом Si^{4+} ($1,10 \cdot 10^{-10}$ м) и S^{6+} ($1,0 \cdot 10^{-10}$ м), но также аналогичным тетраэдр-

ическим расположением атомов кислорода в анионах SiO_4^{4-} и SO_4^{2-} , которое было экспериментально подтверждено избирательной экстракцией растворителя и термоаналитическими измерениями [11]. Отсутствие при этом избытка ионов Ca^{2+} в жидкой фазе по сравнению с составом жидкой фазы безгипсового цемента объясняется адсорбцией избыточного количества ионов Ca^{2+} для компенсации электростатического заряда, возникающего при внедрении в кристаллическую решетку силикатов ионов SO_4^{2-} . Очевидно, что возрастание прочности цементного камня в присутствии гипса в ранние сроки нормального твердения обусловлено только количественным, а не качественным влиянием геля C-S-H [12].

Результаты исследований изменения прочности бетона на клинкерах различного минералогического состава с введением гипса в количестве 4...10 % в процессе физико-химической активации приведены на рис. 1. Для исследования влияния количества гипса использованы клинкеры активностью 40...60 МПа.

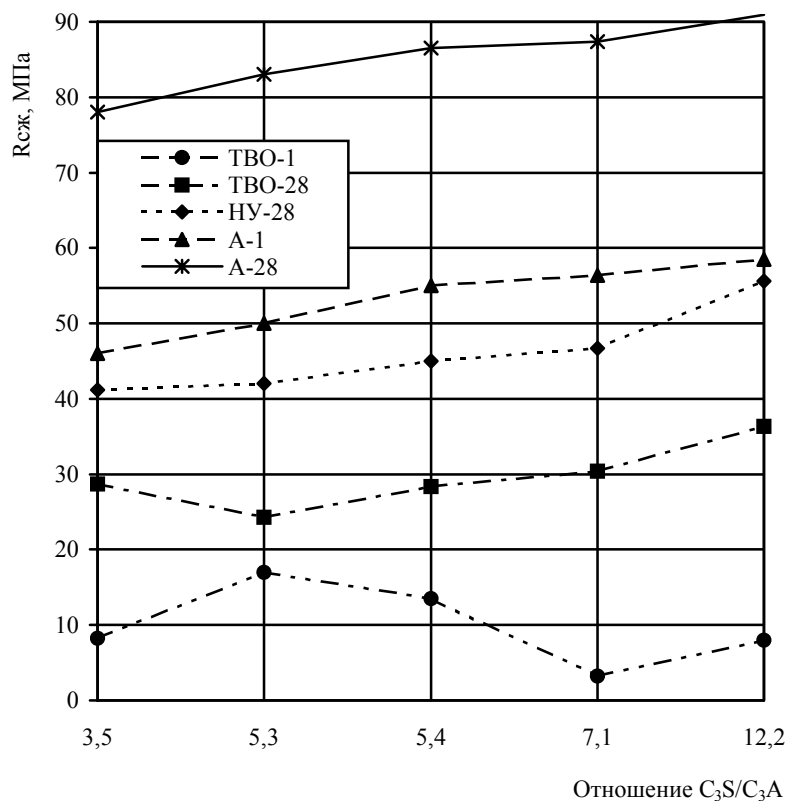


Рис. 1. Прочность бетона на различных клинкерах, твердевшего в разных условиях

Анализ графиков изменения прочности бетона в зависимости от значений отношения C₃S/C₃A показывает, что повышенное содержание трехвалентного алюмината благоприятно влияет на прочность бетона сразу после тепловой обработки. Однако для образцов, твердевших в нормальных условиях в течение 27 суток, и не подвергнутых тепловой обработке, наблюдается обратная зависимость прочности от содержания C₃A. При значении отношения C₃S/C₃A=5,4 на кривых наблюдается отчетливая точка перегиба.

Для активированной цементной системы значительных колебаний прочности при изменении отношения C₃S/C₃A не наблюдается. Это объясняется отсутствием отрицательного влияния предельного содержания алюминатов кальция на прочность активированных цементных систем, поскольку устраняется варьированием количественного содержания химически активных компонентов цементной системы. В результате проведенных исследований установлена возможность управления морфологией сульфогидратов в процессе физико-химической активации цементных систем, что предопреде-

ляет получение высокопрочных гидротехнических бетонов.

Производные алюминатной и ферритной составляющих клинкера в специфических условиях физико-химической активации являются фазами, наиболее склонными к изменению химического состава и морфологии. При этом создается возможность для зародышеобразования C₄АН₁₉ и C₂АН₈, минуя стадию превращения алюминатов в C₃АН₆. Такая цементная система характеризуется пониженной пористостью, особенно в области характерных эффективных радиусов, а также значительным ростом прочности.

Вывод. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности физико-химической активации цементной системы, содержащей химически активные компоненты, с целью получения бетонов специального назначения с заданными проектными характеристиками. При этом исключается необходимость тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий и конструкций любой массивности, что позволяет существенно снизить их себестоимость.

Экспериментально-теоретическими исследованиями доказана высокая эффективность применения физико-химической активации цементной системы бетона при проведении ремонтно-восстановительных работ на искусственных транспортных сооружениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kondo R., Ueda S. Kinetics and Mechanisms of the Hydration of Cements. – Tokyo, 1968. – Vol. 2. – P. 203–248.
2. Механизм гидратации алита / Л. Г. Шпынова, Н. В. Белов, М. А. Саницкий, В. И. Чих // ДАН СССР. – 1977. – Т. 236. – № 1. – С. 168–131.
3. Пунагин В. Н., Пшинько А. Н., Руденко Н. Н. Бетон в условиях повышенных температур. – 2-е изд., испр. и доп. – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 292 с.
4. Пшинько А. Н., Пунагин В. Н., Руденко Н. Н. Особенности структурообразования алюминатов в активированных цементных системах // Ресурсосберегающие технологии в транспортном и гидротехническом строительстве. – Д.: Арт-Пресс. – 2000.
5. Руденко Н. Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 321 с.

Поступила в редколлегию 31.10.03.

М. Д. КОСТЮК (Укрзалізниця),
О. М. ПІШНЬКО, В. Д. ПЕТРЕНКО, С. В. ЦЕПАК (ДІТ)

ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВИХ НАПРЯМКІВ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ ПРИ ПІДВИЩЕННІ ШВИДКОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Проведені порівняльні розрахунки земляного залізничного полотна та виявлені закономірності впливу навантаження на зміну напружень.

Проведены сравнительные расчеты земляного железнодорожного полотна и определены закономерности влияния нагрузки на изменение напряжений.

Comparative calculations of earthen railway bed have been performed and regularities of the influence of loading onto change of strains have been determined.

В основу проектних рішень на різних ділянках дороги при перевлаштуванні траси Київ–Дніпропетровськ при переході на підвищену швидкість руху поїздів до 140 км/год, покладенні діючі нормативні документи та будівельні норми, які є дуже загальними і не завжди підтверджуються необхідними розрахунками; особливо це стосується урахування динамічного впливу.

Огляд науково-технічної літератури підтвердив складність врахування усіх факторів, що обумовлює спрощені підходи до нормативної документації для проектування. Однак розгляд цього напрямку в науково-практичній роботі є необхідним, оскільки швидкість рухомого складу залізниць може зрости одночасно з розвитком пропускної спроможності. При цьому також слід врахувати, що деякі наукові дослідження земляного полотна-споруди проводились без урахування розвитку та формування напрямків на основі нерозробленої на даний час теорії управління земляним полотном.

Відсутність методики визначення міжремонтних термінів обумовлює необхідність використання досвіду спеціалістів по земляному полотну, який набувається в процесі експлуатації окремих ділянок і відповідає виникаючим змінам. При цьому створились умови, за яких на ПЧ та геотехнічних станціях відпала необхідність вивчення та аналізу ґрунтів, що привело до скорочення інформації про земляне полотно, яка накопичується і аналізується у проектантів. Можливість і необхідність створення інформаційної бази еталонних зразків (по кожному пікету або кілометру) відпадає, а стан земляного полотна визначається за критичними «поверхневими змінами», а також за показникам колійних досліджень.

На протязі останніх років в ДІТі формувались наукові напрямки та методи аналізу ґрунтів [1] на основі теорії консолідації, фільтрації та вивчення їх пластичного стану. Однак паралельно у науковців гірничодобувної промисловості [2; 3] було розвинуто напрямок – теорія управління гірським масивом. Це привело до формування нових поглядів, на аналіз ґрунтів та ідентифікацію поняття «земляне полотно» та відкриттю невідомих закономірностей, які підтверджують, наприклад, вірність ступінчатого завантаження при експериментальних дослідженнях на консолідовано-дренований зсув.

В інструкції ЦП/0072 запропоновано визначати стан земполотна «по поверхневим змінам». У свою чергу, поверхневі зміни складаються з наступного:

- ерозійних змін накопиченого характеру;
- ентропії поверхневих змін;
- геотехногенних змін основи земляного полотна.

Слід відзначити, що ерозійні зміни визначаються в залежності від сезонних кліматичних умов. Геотехногенні зміни, у тому числі гірничі підробки, з'являються незалежно від руху поїздів і є аварійними. Ентропія поверхневих змін – енергія змін, які проходять у земляному полотні, залежить від сумарної дії усіх факторів, а найбільш від поїзного навантаження та зміни вологості.

На основі систематизації розглянутих наукових поглядів сформулюємо поняття:

- земляне полотно – це великопротяжна самоорганізуюча система, несуча земляна споруда, потенційна енергія термодинамічних перетворень у якій відповідає її об'єму та фізичним властивостям ґрунтів, а зміна внутрішнього стану його відповідає ентропії поверхневих

змін. Експлуатація земляного полотна має найвищу надійність за пружного стану. При цьому ентропія системи відображає хаос термодинамічних перетворень енергії руйнування, тріщинотворення і пластичних деформацій внутрішньої структури земполотна, постійно зростає до переходу споруди або її окремих ділянок у пластичний стан (зсув). Пружний стан ґрунтів складає першу третину реологічної кривої при трьохвісному випробуванні і допускає визначення фізичних параметрів випробуванням на консолідовано-дренований зсув;

– підшпальна баластна призма – це верхня будова земляної споруди-полотна із крупнокускового міцного скельного матеріалу (щебеню), яка зовсім позбавлена властивостей контактних пластичних деформацій. Енергія від поїзного навантаження у призмі витрачається тільки на термодинамічне перетворення за рахунок тертя, при цьому призма має тільки пружні властивості (у незабрудненому стані) і здатність до самовідновлення стану та форми.

Якщо не враховувати початок впровадження на залізниці нових методів зменшення конвергенції баластного шару, що проводиться за допомогою використання геотекстильних матеріалів, то ці поняття носять характер постулатів. Але слід відзначити, що з точки зору теорії управління, визначення терміну міжремонтних строків треба враховувати обґрунтовані і експериментально підтверджені наукові передумови для створення нормативної документації. У зв'язку з цим потрібно розробити необхідні розрахунки стану земляного залізничного полотна.

Враховуючи, що за нормальних кліматичних вологообмінних умов напруження земполотна на відказ складає декілька років, зміни його стану можливо вважати віртуальними. Це дозволяє використовувати варіаційні принципи теорії пружності і пластичності [4] до вирішення поставленої задачі. Тому приймаємо умову, що система «земляне полотно–поїзне навантаження», на яку накладено задані геометричні зв'язки, знаходиться у рівновазі під дією прикладених сил. Тоді сума усіх віртуальних робіт $\delta'W$ зовнішніх і внутрішніх сил, які діють на цю систему на будь – яких нескінченно малих віртуальних переміщеннях, задовольняє задані геометричні зв'язки, і рівна нулю:

$$\delta'W = 0. \quad (1)$$

Якщо далі припустити, що усі зовнішні та внутрішні сили мають потенціал U , який є функцією координат і терміну, то принцип віртуальної роботи зводиться до принципу стаціонарності потенційної роботи, за якого множина усіх допустимих конфігурацій стану рівноваги характеризується властивостями стаціонарності потенційної енергії U :

$$\delta U = 0. \quad (2)$$

У подальшому, використовуючи принцип Даламбера без урахування інерції системи, отримуємо:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \delta'W dt. \quad (3)$$

У результаті маємо узгодження про те, що віртуальні зміни у початковий і кінцевий термін рівні нулю.

У свою чергу, таке міркування дає можливість обґрунтовано зробити два основні висновки:

– якщо термін випробувань ґрунтів, наприклад методами пенетрації, достатньо малий у порівнянні із терміном експлуатації земляного залізничного полотна, то випробування не вплинуть на отримані значення напружень, а результати замірів через тривалі проміжки дадуть картину зміни стану у часі;

– короткий термін випробувань може характеризувати статичний стан споруди, що робить можливим використати метод скінчених елементів (МСЕ) і підтвердити розрахунки методами пенетрації.

Якщо припустити, що система адитивна, тоді функціонал F прийме вигляд

$$F = \sum_{t=t_1}^{t=t_2} Q, \quad (4)$$

де Q – поїзне навантаження, тис. т / рік.

Лабораторією механіки ґрунтів ДПТУ було проведено розрахунки 113,5 км перегону швидкісної траси Дніпропетровськ–П'ятихатки (рис. 1), за яких отримано поля напружень та переміщень у земляному полотні. Результати пенетрометричних випробувань підтвердили результати розрахунків у варіантах зміни прикладення поїзного навантаження по ширині земполотна. Це в загальному випадку дає можливість визначити присутність невідомих раніше закономірностей, які при попередньому розгляді мають відзначений (рис. 2) вигляд.

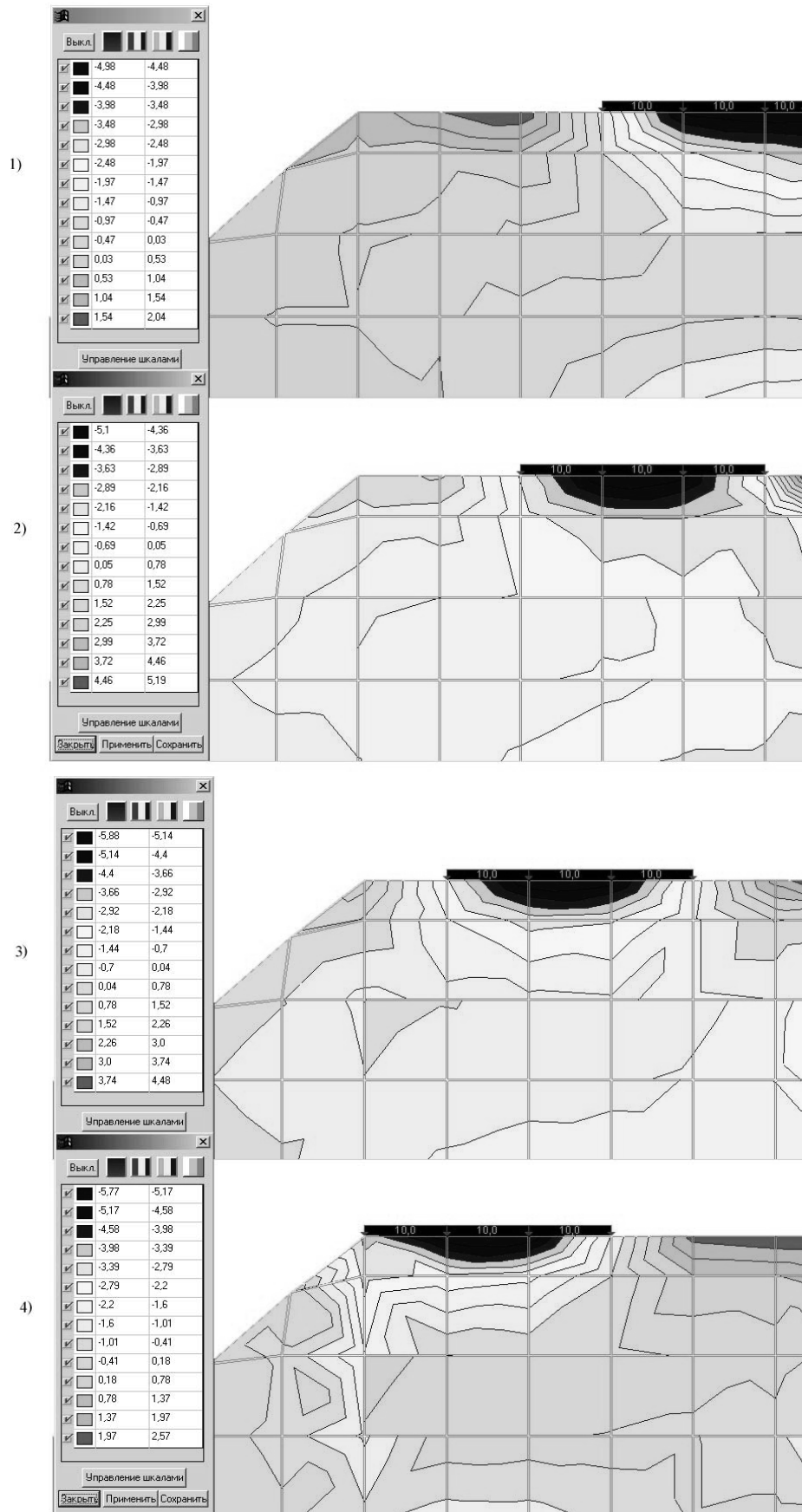


Рис. 1. Схема розташування ізополів напружень в залежності від прикладення навантаження по ширині земляного полотна

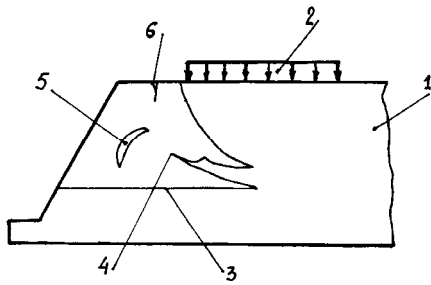


Рис. 2. Основні закономірності полів напружень:
 1 – земляне полотно; 2 – поїзне навантаження;
 3 – орієнтовна нижня межа поля напружень; 4 – піковий
 виплеск напружень стиску; 5 – локальна зона поля
 напружень розтягу; 6 – поверхнева зона поля розтягнень

Впровадження висунутих наукових положень та отриманих знань про розташування основних елементів формування порушень земляного полотна робить можливим визначити стан окремих його ділянок, створити обґрунтовану методику визначення міжремонтних термінів до розробки вітчизняного вагона-геотехнічної станції, а також впровадити поточний контроль поверхні земполотна обхідни-

ками колії, наприклад, з використання переносних експрес-пенетрометрів.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн М. Н., Царьков А. А., Черкасов И. И. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
2. Колесников В. Г. Способ управляемого разрушения выбросоопасных пород при проведении выработок механическим способом // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. Вып. 1, 1976.
3. Открытие: диплом № 1. Закономерность разрушения предельно напряженных горных пород при слабых воздействиях. В. Н. Потураев, А. Н. Зорин, В. В. Виноградов, А. Ф. Булат, 1985.
4. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Мир, 1987. – 542 с.

Надійшла до редколегії 30.10.03.

А. В. РАДКЕВИЧ (ДІТ)

АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

У даній статті за допомогою застосування високоефективного потокового алгоритму та з використанням міжсистемних зв'язків, на основі прямих і двоїстих задач розроблені теоретичні положення обґрунтованого вибору підрядчика, своєчасного і ефективного відновлення будівель та споруд.

В данной статье с помощью применения высокоэффективного потокового алгоритма и с использованием межсистемных связей, на основе прямых и двойственных задач разработаны теоретические положения обоснованности выбора подрядчика, своевременного и эффективного восстановления зданий и сооружений.

The article, with the help highly-efficient flow algorithm and usage of intra-system links, on the basis of direct and dual problems, develops a theoretical substantiation of grounded selection of sub-contractor and timely and efficient renewals of buildings and installations.

Опрацювання організаційно-технологічних рішень вимагає обліку сучасних досягнень в області системотехніки, яка вивчає технічні, організаційні й управлінські виробничі системи, міжсистемні зв'язки, взаємодіючі при досягненні результатів діяльності.

Важливою системотехнічною характеристикою будівництва, а за аналогією і капітального відновлення об'єктів, є тривалість інвестиційного циклу, протягом якого у системах відбуваються істотні зміни: технічні (вводяться в експлуатацію перші черги проєктів, створюються методи і засоби керування). Усе це впливає на системотехнічні взаємозв'язки учасників виробництва й елементів виробничої системи. Інтенсивний розвиток методів вибору оптимальних організаційно-технологічних рішень зв'язаний з появою теорії дослідження операцій і сучасної обчислювальної техніки. Значний ефект дає використання системи сіткового планування та управління на цілому ряді великих будівництв.

Успіхи будівельної індустрії стали можливими завдяки фундаментальним дослідженням з вищеперахованих питань широковідомих вчених І. Я. Бірмана, Л. Р. Капі, І. Д. Павлова, Р. Б. Тяна, Д. Філіппса, Р. І. Швецова.

У даній статті розглянуто відоме математичне формулювання задачі про розміщення підприємств [1; 4].

Визначимо пункти $B_1, \dots, B_j, \dots, B_n$, по кожному з яких задано попит на визначені ресурси $b_1, \dots, b_j, \dots, b_n$. Визначимо пункти $A_1, \dots, A_i, \dots, A_m$, у яких є чи можуть бути побудовані підприємства, що випускають продук-

цію. У кожному такому пункті може бути тільки одне підприємство (якщо декілька, то відповідно збільшується число пунктів), але потужності підприємств можуть бути різними. Потужність підприємств позначимо a_i^k , де нижній індекс відповідає номеру пункту, а верхній – номеру варіанта потужності.

Кількість варіантів потужності в кожному пункті може бути різною. Позначимо цю кількість через P_i . Тоді $K = 1, \dots, P_i$. При $K = 1$ потужність дорівнює нулю. Позначимо через C_{ij} витрати на перевезення одиниці продукції з пункту i у пункт j , а через S_i^k – розмір витрат на виробництво одиниці продукції в пункті i при варіанті потужності k . Розмір постачання продукції з пункту i в пункт j в оптимальному плані будемо позначати через x_{ij} .

Оскільки тільки в ході розрахунку встановлюється який варіант потужності підприємств і ввійде в оптимальний план, уведемо невідоме Y_i^k , за допомогою якого виразимо вимогу цілочисельності у формулюванні задачі. Це невідоме може дорівнювати 1 чи 0, причому, якщо $Y_i^k = 1$, це означає, що даний варіант потужності входить в оптимальний варіант, а якщо $Y_i^k = 0$, то відповідний варіант в оптимальне рішення не входить. Оскільки по кожному підприємству може ввійти у рішення тільки один варіант, то ця вимога відбивається наступною рівністю:

$$\sum Y_i^k = 1, \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (1)$$

Сума поставчань у кожен пункт споживання повинна дорівнювати його попиту

$$\sum X_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Сума поставчань по кожному підприємству-постачальнику повинна дорівнювати одному з варіантів його потужності

$$\sum X_{ij} = \sum a_i^k. \quad (3)$$

Задача має сенс тільки за тієї умови, що сума максимальних потужностей по кожному підприємству більше сумарного попиту $\sum a_i^P > \sum b_j$.

При цьому створюється можливість вибору оптимального варіанта.

Записавши вимогу незаперечності поставчань $x_{ij} > 0$ і функціонал,

$$F(x) = (\sum x_{ij} C_{ij} + \sum S_i^k a_i^k Y_i^k) - \min. \quad (4)$$

Таким чином, ми склали економіко-математичну модель задачі про розміщення. Для рішення задачі необхідно мати її модель. Мета складання моделі – приведення задачі до виду, що допускає її кількісне рішення. В остаточному підсумку задача описується системою рівнянь і нерівностей для її рішення відомими методами, а якщо методів рішення не існує, то їх варто розробити. Однак модель повинна бути такою, щоб задачу можна було вирішити. Це і становить головні труднощі.

У самому загальному виді принципова схема рішення наступна. Складається матриця, рядки якої розподіляються під варіанти виробництва, а стовпці – під споживачів. Сумарний попит усіх споживачів набагато менше сумарної потужності всіх постачальників по розглянутих варіантах, з яких необхідно зробити вибір, що і робить модель відкритою. Для балансування вводиться стовпець фіктивного споживача з попитом, рівним небалансу. Матриця показників C_{ij} (за винятком стовпця фіктивного споживача) заповнюється числами, що характеризують сукупні витрати на виробництво одиниці продукції за відповідним варіантом і доставку її до відповідного пункту споживання.

Використовуючи який-небудь транспортний алгоритм, виконують розрахунок оптимальної схеми поставчань. Підприємства (варіанти), що прикріпилися до реальних споживачів, вигідні з погляду загального мінімуму витрат, їх варто прийняти для реалізації, ті ж, що прикріпилися до фіктивного споживача, не вигідні й у реалі-

зації включатися не повинні. Рішення задачі зв'язане з необхідністю подолання ряду серйозних неприємностей, що відносяться як до самої схеми розрахунку, так і до представлення в матриці вихідної інформації.

При зміні потужності підприємства (під потужністю розуміється випуск продукції, а не абстрактна спроможність) змінюється і сума витрат на виробництво, причому ці витрати непропорційні. При збільшенні потужності сума витрат найчастіше збільшується, але в меншому ступені. Якщо будувати графік, відкладаючи по осі абсцис питомі витрати, а по осі ординат потужність підприємства, то залежність буде нелінійною і мати вигляд гіперболи.

Таким чином, одна з головних залежностей у задачі має нелінійний характер, і задача, суворого говорячи, не відноситься до лінійного програмування, призначеного для лінійних екстремальних задач. До чого це практично веде? При розрахунку потужність деяких рядків матриці цілком прикріплюється до реальних споживачів, а деяких – цілком до фіктивного споживача. З'являються реальні і фіктивні рядки в матриці. Відповідно до алгоритму загальна кількість кружків в оптимальному розподілі повинна бути $m + n - 1$, причому вони повинні розташовуватися в порядку комбінації, що вимальовується; у оптимальному розподілі практично завжди будуть рядки, в яких потужність прикріпилася одночасно до фіктивного і реального споживачів (змішана стратегія розподілу). Таке положення означає, що вигідно мати підприємство меншої потужності, рівне сумі поставчань реальним споживачам. Такий висновок може виявитися невірним. Оптимальність розподілу встановлюється за значенням функції мети. У функціонал дане підприємство ввійшло з витратами, зазначеними в матриці, але при питомих витратах, що відповідають повній, а не частковій потужності підприємства. Якщо прийняти, що потужність підприємства буде рівна тій частині, що прикріпилася до реальних споживачів, то необхідно відповідно змінити показники питомих витрат на виробництво, а значить, і отримане значення функціонала.

Розглянемо реальний приклад. Нехай маються чотири пункти, у кожному з яких можна розмістити (побудувати) підприємство. Є також чотири споживачі. Виконавши розрахунок по транспортному алгоритму, одержимо оптимальний план, де значення цільової функції $L(x) = 1725$, табл. 1. Тут рядок A_1 є змішаним, так само як і рядок A_3 . Рядок A_2 є

реальний, а A_4 – фіктивний. Таким чином, уся потужність рядка A_2 пішла реальним споживачам і тут доцільно будувати підприємство, а в пункті A_4 , оскільки вся потужність пішла фіктивному споживачу, робити це не вигідно, тому що це дуже дорого.

Таблиця 1

Оптимальний варіант розміщення

Варіанти розміщення і їхньої потужності	Споживачі і їхній попит				Фіктивний споживач
	B_1	B_2	B_3	B_4	
	50	25	75	50	
A_1 100	9 50	14	15	11	0 50
A_2 100	7 0	9 25	8 75	10	0
A_3 100	13	12	11	9 50	0 50
A_4 100	11	13	15	12	0 50

Але, як бути із суміжними рядками, неясно. Якби залежність загальної суми витрат від потужності була лінійною, то можна було б прийняти, що потужності цих підприємств повинні дорівнювати постачанням реальних споживачів. При цьому значення цільової функції не змінилося б.

Насправді зменшення потужностей приведе до зростання питомих витрат і зміні цільової функції. Якщо зменшити потужності A_1 і A_3 до 50 т, питомі витрати на виробництво збільшаться по A_1 на 2 грн, а по A_3 на 4 грн. Змінюємо всі показники; результат наведений у табл. 2.

Таблиця 2

Оптимальний варіант розміщення

Варіанти розміщення і їхньої потужності	Споживачі і їхній попит				Фіктивний споживач
	B_1	B_2	B_3	B_4	
	50	25	75	50	
A_1 50	11 50	16	15	11	0
A_2 100	7	9 25	8 75	10	0
A_3 50	17	16	15	13	0 50
A_4 50	11 0	13	15	12 50	0

Коректування показників привело до зміни плану постачань, де A_3 прикріпилася до фіктивного споживача, а постачальник A_4 виявився вигідним. Із приведеного випливає, що для рішення задачі про розміщення недостатньо однократного застосування транспортного алгоритму. Основна неприємність при рішенні задачі про розміщення полягає в наявності змішаних рядків у первісному оптимальному розподілі постачань. Це дає підстави зв'язати рішення задачі з проблемою одержання цілочисельного рішення. При цьому цілочисельність визначає такий розподіл, у якому по кожному рядку вся продукція йде тільки фіктивному споживачу чи тільки реальним споживачам.

Нецілочисельність рішення визначається наявністю змішаних рядків у матриці. Слід зазначити, що в задачі про розміщення вимога цілочисельності рівнозначна неподільності об'єкта. Цілочисельне рішення можливе лише у породженій задачі. Виродження – це випадок, коли застосування загального правила не гарантує потрібний результат: щоб вирішити задачу, у яку потрапляє породжений випадок, необхідно застосувати особливі, додаткові правила. Вони полягають у тім, що якщо у транспортній задачі не виконується умова $m + n - 1$, то використовуються нульові постачання. Тут варто дотримуватись однієї умови: додаткові кружки не повинні утворити комбінацію, що не вимальовується (рис.).

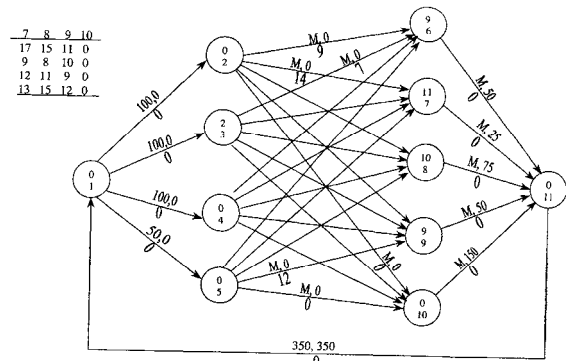


Рис. Рішення задачі в мережній структурі

Потужність підприємства визначається потужністю основного технологічного устаткування. У розрахунок необхідно прийняти лише такі варіанти, що збігаються з потужністю основного устаткування. Через дискретну зміну потужностей залежність між потужностями і витратами насправді має кусочно-лінійний характер, що і дає можливість вирішувати задачу методами лінійного програмування.

Отримані оптимальні результати, приведені в табл. 1, 2 на основі рішення транспортної задачі лінійного програмування, можна одержати ще шляхом використання алгоритмів у мережній структурі [2; 3] як окремий випадок результату. Для цього потрібно вихідну матрицю значень C_{ij} трансформувати в мережену модель з дотриманням умов циркуляції.

У даній методиці необхідно реально побудувати модель процесу і відбити несуперечність змінних величин (F_{ij} , L_{ij} , C_{ij}), що характеризують кожну дугу $(ij) \in A$. Це відноситься до вихідних і вхідних потоків. На основі значень табл. 1, 2 розроблені мережені моделі, що за інформацією їм адекватні. Результати оптимального рішення наведені в табл. 3; при порівнянні значень цільових функцій маємо ідентичний результат, тобто

$$L(x) = \sum \sum C_{ij} X_{ij} = Z(f) = \sum C_{ij} f_{ij}.$$

Таблиця 3

М	I	J	HI	LO	FLOW	COST
1	1	2	50	0	50	0
2	1	3	100	0	100	0
3	1	4	50	0	50	0
4	1	5	50	0	50	0
5	2	6	M	0	50	11
11	3	7	M	0	25	9
12	3	8	M	0	75	8
19	4	10	M	0	50	0
23	5	9	M	0	50	12
25	6	11	M	50	50	0
26	7	11	M	25	25	0
27	8	11	M	75	75	0
28	9	11	M	50	50	0
29	10	11	M	50	50	0
30	11	1	250	250	250	0

Таким чином, сьогодні ми можемо одержати лише наближені рішення, а точно викладати наближені способи завжди проблематично. Тому процес розміщення і розвитку виробництва є ітеративним шляхом багаторазового рішення окремих «транспортних» задач з послідовним зменшенням потужностей по змішаних рядках є обов'язковим. Уся проблема одержання цілочисельного рішення зводиться до двох

зв'язаних питань [1]. Перше – як ознака для визначення черговості зменшення потужностей по змішаних рядках. Друге – як не проскочити повз оптимум за рахунок того, що потужність зменшена по рядку, що при наступних змінах інших рядків стає вигідним.

Після першого розрахунку отримане оптимальне рішення аналізується шляхом з'ясування змішаних рядків і розподілення по них постачання. При цьому не розглядаються змішані рядки, у яких, істотно, переважна частина потужності йде фіктивному споживачу.

По змішаних рядках, що залишилися в розгляді, варто установити, які з них виключаються з плану постачань, за якими варто відступити на одну сходинку потужності, а по яким потужність повинна увійти в оптимальну стратегію. При підборі варіантів для перерахунків приймаються до уваги такі фактори:

- співвідношення в постачаннях по змішаному рядку, фіктивному і реальному споживачах;

- чи мається в подвійному рядку варіант потужності, близький за величиною до суми постачань реальним споживачам;

- наскільки збільшаться по цьому рядку витрати на виробництво при переході до наступного варіанту потужності;

- як розподілити потужність по цьому рядку при розрахунках з великим попитом;

- як розподілити потужність по рядку у варіантах з розгойдуванням вихідних даних.

Зміст підбору полягає в тому, щоб установити, по якому зі змішаних рядків і до якого рівня варто зменшувати потужність для найближчого перерахування.

Зміни в матриці відпрацьовуються у такий спосіб. Якщо необхідно перейти на менший варіант потужності, то відповідно змінюється показник потужності і показники C_{ij} . Якщо потужність рядка необхідно цілком вивести з оптимального розподілу, то вона приймається нульовою. Якщо необхідно всю потужність рядка прикріпити до реальних споживачів, то в її перетинанні зі стовпцем фіктивного споживача ставиться число.

При всіх змінах показники інших рядків залишаються незмінними. Коли число змішаних рядків зменшиться, то перерахунки доцільно виконувати за закритою моделлю, тобто виключити рядки, що цілком прикріпилися до фіктивного споживача; потужність зменшується по змішаних рядках і виключається фіктивний споживач.

Однак самим істотним недоліком рішення є відсутність (неотримання) у явному вигляді

двоїстих оцінок і неможливість ввести в задачу міжсистемних зв'язків.

Запропонований мережений підхід дозволяє формалізувати і врахувати міжсистемні зв'язки, має ряд переваг як у підході до розробки структури моделі, так і в застосуванні високоефективного потокового алгоритму визначення оптимального рішення в діалоговому режимі. Такий підхід на основі прямих і двоїстих оцінок дає можливість об'єктивно оцінити економічну і фізичну сутність задачі та її тлумачення.

БИБЛИОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бирман И. Я. Оптимальное программирование. – М.: Экономика, 1968. – 232 с.
2. Кани Л. Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
3. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
4. Швецов Р. И. Применение методов линейного программирования для размещения предприятий материально-технической базы строительства. – М.: Стройиздат, 1964. – 103 с.

Надійшла до редколегії 05.10.03.

АНАЛІЗ РЕФОРМУВАННЯ СТРУКТУР УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ У РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ ЄВРОПИ

У статті аналізуються проміжні результати реформування структур управління залізничним транспортом у розвинених європейських країнах після прийняття декларацій Європейського Союзу (ЄС) з цього питання. Зроблено висновок про те, що уряди європейських країн по-різному ставляться до вимог Директив ЄС та не завжди вважають за необхідне реформувати структуру управління залізничним транспортом.

В статье анализируются промежуточные результаты реформирования структур управления железнодорожным транспортом в развитых европейских странах после принятия деклараций Европейского Союза по этому вопросу. Сделан вывод о том, что правительства европейских стран по-разному относятся к требованиям Директив ЕС и не всегда считают нужным реформировать структуру управления железнодорожным транспортом.

The article analyzes intermediate results of reforming the structures of railway transport management in developed European countries after adoption of the European Union's declarations on the issue. The conclusion has been made that the governments of European countries have different attitudes toward the EU directives and do not always consider it necessary to reform the structure of railway transport management.

Вступ

Частка залізничного транспорту на ринку транспортних послуг Європи з 1970 до 2000 рр. знизилась з 30 до 8 % у вантажних перевезеннях та з 10 до 5 % у пасажирських перевезеннях [6]. Для усунення цієї негативної тенденції та збільшення частки залізничного транспорту у вантажному русі до 2020 року в три рази, а у пасажирському русі в два рази (до 676 млрд пасажиро-км) були розроблені Директиви Європейського Союзу 91/440 [2], 18/95 [3] і 19/95, якими передбачалося істотне реформування залізничного транспорту європейських країн.

Директиви пропонували членам Європейського Союзу знизити транспортні тарифи на перевезення за рахунок реформування структури управління залізничним транспортом. Для цього було рекомендовано відділити функції управління експлуатаційною діяльністю залізниць від інфраструктури та впровадити обов'язковий розподіл їх доходів та витрат. Реформування структури управління як обов'язкове не обумовлювалося.

Було запропоновано утворити окремо залізничну інфраструктуру та залізничні підприємства (компанії – оператори). Для координування діяльності компаній інфраструктури і експлуатаційних компаній-операторів та регулю-

вання між ними нормальних стосунків держава організує сильну і незалежну адміністрацію.

Приймаючи до уваги стратегічне значення транспорту, Директива постановляє, що держава, без сумніву, і надалі залишиться основним власником інфраструктури залізниць та назавжди буде мати право контролю її діяльності, а перевезення вантажів та пасажирів будуть виконуватися на конкурентній основі.

Постановка задачі

При реформуванні структури управління залізничним транспортом необхідно враховувати вимоги як з боку Європейського Союзу, так і з боку національної законодавчої бази стосовно умов конкуренції, укладення контрактів, надання послуг та інше. Проте на цьому етапі нема чіткого розуміння, якою мусить бути ідеальна організаційна структура в світі потреб майбутнього.

Основною метою наукових досліджень є вивчення та аналіз досвіду реформування структур управління залізничним транспортом у розвинених європейських країнах [4–6], визначення умов необхідності зміни моделі управління та розробка в подальшому науково обґрунтованої методології перспективного реформування організаційної структури управління залізничним транспортом України [1].

Результати

Для вивчення різновиду реформування організаційної структури залізничним транспортом було проаналізовано досвід найбільш розвинених країн Європи (Великобританії, Німеччини, Франції, Швейцарії).

Великобританія була першою європейською державою, яка після прийняття Директиви 91/440 пішла по шляху приватизації залізниць країни. Ще у 2002 році в ній діяло 25 приватних компаній, які займалися пасажирськими перевезеннями, та 7 вантажних компаній [6]. Роль держави зводилася лише до утримання організації, яка контролює роботу залізничного транспорту. У травні 1996 року уряд консерваторів вирішив фактично приватизувати залізницю і продати значний пакет акцій найпотужнішій компанії «Rail Track». За два роки вартість акцій зросла на 70 %, запізнення поїздів скоротилися на 30 %. З'явилися додаткові послуги у поїздах та вокзалах, які також належали компанії «Rail Track». Уряд був задоволений, було скорочено субсидії у залізничний транспорт, а пасажирів одержали право вибору найбільш зручного виду транспорту.

У той же час приватизація мала деякі недоліки, наприклад, утримання рухомого складу погіршилося, а планові ремонти замінялися звичайним пофарбуванням старих вагонів. Через певний час стало зрозуміло, що компанія не в змозі нормально працювати. Проблеми почалися у 1999 році, коли відбулася катастрофа у Лондонському районі, загинула 31 особа. Після цього стало зрозумілим, що система безпеки потребує удосконалення. Були витрачені величезні кошти, але це було тільки початком занепаду компанії «Rail Track».

Постійні катастрофи та аварії, запізнення та відміни поїздів, періодичні страйки, загальний стан рухомого складу призвели до того, що уряд Великобританії назвав свої залізницю найгіршими у Європі. Було розроблено ряд заходів з підтримки компанії «Rail Track», а потім встановлено адміністративний контроль держави над нею. У решті решт компанія «Rail Track» була реструктуризована, а її доходи були вилучені та направлені на технічне оснащення залізниці. Із цього прикладу можна зробити один неприємний висновок – перша спроба приватизувати контрольний пакет акцій компанії інфраструктури знаходиться на межі розвалу.

Швейцарія. Структура Швейцарських залізниць зовсім відрізняється від залізниць Великобританії. По-перше, слід сказати, що у

1998 році федеральні залізниці Швейцарії (SBB) стали акціонерним товариством з 100 %-ною державною власністю [6]. За цей час вони стали одержувати прибуток, який усе менше залежить від субсидій держави, та збільшили капітал компанії. Проте проблеми залишаються.

Із точки зору техніки та експлуатаційних показників SBB є однією з найуспішніших залізниць у світі. Високий рівень технічного оснащення обумовлений великими обсягами інвестицій, які держава вкладає у розвиток інфраструктури та рухомого складу. Керівництво SBB не вважає за необхідне розмежування інфраструктури та перевезень, рахує що це безглуздя і висловлює загалом певний скептицизм стосовно приватизації. Воно вважає, що здійснити її легше на залізницях, де головним користувачем є вантажоперевізник. Причина тут полягає у надзвичайно дешевій інфраструктурі. Інфраструктура для організації руху пасажирських поїздів значно дорожче, бо вимагає багато заходів щодо забезпечення безпеки руху та комфорту пасажирів.

На підставі викладеного можна зробити висновки:

- Акціонування залізниць з 100 %-ною власністю має певні переваги і може забезпечити прибуткову діяльність без державних субсидій.
- Без розподілу структури управління залізничним транспортом на компанію інфраструктури та експлуатаційні компанії операторів можна спокійно існувати.
- Приватизація залізниць – це не панацея, і якщо її виконувати, то краще це робити на залізницях з дешевою інфраструктурою, яку застосовують в основному перевізники вантажів.

Німеччина. В 1990 році, з об'єднанням Німеччини, почалася нова епоха для залізниць колишніх двох країн. Вони мали разом на кінець 1993 року заборгованість у розмірі 67 млрд нім. марок. Одночасно у Федеративній Республіці Німеччина в період з 1950 по 1990 рр. частка залізниць в загальній кількості вантажоперевезень скоротилась з 60 до 29 %, а в перевезенні пасажирів – з 36 до 6 % [6].

Для вирішення цих негативних проблем необхідна була негайна реформа, мета якої повернення залізниці конкурентоспроможного положення на ринку транспортних послуг та посилення ступеня використання народної власності. Це було можливо тільки у формі ак-

ціонерного товариства, орієнтованого на одержання прибутку та здійснення підприємницької діяльності.

Для досягнення всього зазначеного було визначено три цілі:

- підвищення продуктивності в залізничному секторі;
- розвантаження федерального бюджету;
- перенесення питомої ваги транспортних перевезень на колії.

Перший етап реформи почався в 1994 р. та продовжувався п'ять років. Він був використаний для підготовки і рішення задач другого етапу – створенню цільової структури із самостійних акціонерних товариств на чолі з холдинговою компанією. 1 січня 1994 р. було засноване акціонерне товариство залізниць Німеччини – DBAG, хоча держава й надалі могла впливати через наглядову раду або збори акціонерів на його діяльність у якості єдиного акціонера.

Задачею другого етапу реформи є реалізація на практиці структури управління залізничним транспортом. Із 1999 року підприємство – Deutsche Bahn (залізниця Німеччини) набуває статус багаторівневого концерну на чолі з холдинговою компанією DBAG. У концерн, крім холдингової компанії, входять п'ять акціонерних товариств.

Цим акціонерним товариствам підпорядковані та закріплені за ними підприємства концерну. У ролі управлінської структури виступає холдингова компанія, яка відповідає за кінцеві результати діяльності залізниць, розподіляє інвестиції між дочірніми компаніями та являє собою суб'єкт господарювання.

Функції експлуатації виконують три компанії: DB Cargo – перевезення вантажів, DB Travel & Tourism – перевезення пасажирів у дальніх сполученнях, DB Regio – місцеві і регіональні пасажирські перевезення. Відповідальність за стан колії, засобів сигналізації, систем управління перевезеннями і електрифікації несуть дві компанії інфраструктури – DB Station & Service і DB Network. Відділення тяги та рухомого складу скасовані, їхні основні фонди приписані до відповідних експлуатаційних компаній.

Завданням держави залишається регулювання та технічний контроль залізничного сектору, гарантування конкуренції на залізницях, утримання на необхідному рівні колійної інфраструктури через підтримку інноваційних проектів, а також підтримка транспортних пос-

луг, що надають підприємства зі змішаними формами власності в приміському сполученні.

Законодавство країни передбачає, що контрольний пакет акцій – 50,0 % та ще один голос компанії інфраструктури DB Network назавжди залишиться за державою. Що стосується інших товариств, то вони можуть продаватися на біржі лише після трьох років прибуткової роботи. Із 2004 року передбачається часткова приватизація підприємств залізничного транспорту за умови досягнення ними необхідного рівня ефективності.

Адміністрація DBAG будує політику менеджменту таким чином, що перспективи розвитку й активності на ринку в першу чергу залежать від зберігання вертикального зв'язку між холдингом та компаніями інфраструктури і операторами. Надалі планується посилення ролі регулюючого органа – Федерального бюро залізниць (EBA), який буде затверджувати графік руху поїздів і впливати на розподіл пропускнуої спроможності, приймаючи участь у переговорах між адміністрацією інфраструктури і компаніями – операторами.

Конкуренція з боку приватних компаній стає звичайним явищем. Поки їх частка невелика, DBAG змушена постійно шукати шляхи компенсації збиткових перевезень. Правом відкритого доступу до інфраструктури користується близько 200 приватних компаній, з яких 55 % – для перевезення вантажів. Інші – нові регіональні пасажирські компанії, що одержали контракти на перевезення від регіональної влади, або залізниць сусідніх країн. З'явився і перший приватний оператор у дальніх пасажирських сполученнях.

В цілому можна зробити такі висновки:

- Реформа залізничного транспорту Німеччини має позитивні наслідки, що підтверджують статистичні дані. Обсяг наданих транспортних послуг за сім років виріс на 10,7 %. Продуктивність праці збільшилася майже на 100 %.
- Розвиток DBAG йде шляхом масштабної реструктуризації, яка включає диверсифікацію в галузях, що доповнюють перевезення. Результатом цього процесу в найближчі роки може стати часткова приватизація.
- Посилення комерційного підходу сприяє використанню активів компаній DBAG, особливо станцій, що дозволило 68 % пасажирів додатково одержати послуги, які пов'язані з торгово-культурними цілями.

Франція. Законом від 13.02.97 р. була утворена нова адміністрація RFF (мережа залізниць Франції), на яку було покладено відповідальність за утримання і розвиток інфраструктури залізниць країни. Одночасно вийшли укази, які визначають функції RFF та порядок взаємодії держави, Національного товариства залізниць Франції (SNCF) і нового відомства [4; 6].

Було передбачено:

– Держава визначає вимоги до утримання та основні характеристики залізничної мережі.

– RFF як власник інфраструктури відповідає за планування, фінансування та реалізацію інвестицій на національній залізничній мережі, а також за експлуатацію і ремонт. Вона визначає цілі, принципи використання, утримання та модернізації об'єктів інфраструктури; взаємодіє зі службами управління руху поїздів; планує джерела фінансування; виконує функції розпорядника робіт з інвестиційних проектів чи доручає їх SNCF.

– SNCF за дорученням RFF організує експлуатаційну роботу на залізничній мережі; розробляє графік руху поїздів та контролює його виконання; виконує нагляд, поточне утримання, планові та аварійні ремонти об'єктів інфраструктури. RFF оплачує послуги SNCF у межах контракту між ними.

– Відповідальність за регіональні пасажирські сполучення, у якості експерименту, передається на рівень місцевої влади у семи провінціях з правом розпорядження наданими державою відповідними фінансовими ресурсами.

Але найголовніше у реформі те, що вона направлена на збереження цілісності майнового комплексу в плані відповідальності за залізничні перевезення, управління рухом та поточного утримання інфраструктури. Це рішення дисонує з рішеннями, прийнятими у сусідніх країнах, та йде всупереч наміру приватизації залізниць. Нова інституційна схема утворює базу для розробки корпоративного плану, який відповідає двом умовам:

– переорієнтація діяльності залізниць на відповідність інтересам клієнтів;

– адаптація та трансформація внутрішніх механізмів для оновлення галузевих взаємозв'язків.

Із січня 2002 року набрав чинності закон, що радикально змінює організацію регіонального транспорту Франції. Він може відкрити путь до ринку транспортних послуг іншим компаніям – операторам і розпочне ліквідацію монополії Національного товариства залізниць Франції. У нових умовах центральний уряд

припинить сплачувати послуги SNCF з організації регіональних сполучень і направить фінансування безпосередньо регіональним адміністраціям. Це не стосується семи пілотних регіонів, де ці зміни відбулися ще у 1997 році.

Починаючи з 2002 року регіони отримали змогу укладати контракти з SNCF, як з єдиним оператором, та використовувати фонди центрального уряду для компенсації витрат SNCF у місцевому та регіональному сполученні.

У теперішні часи закон не допускає конкуренцію у сфері регіональних пасажирських перевезень. SNCF має намір і надалі бути лідером у цій сфері за рахунок високого рівня обслуговування і безпеки при мінімальних витратах. На підставі викладеного можна зробити такі висновки:

- У Франції дуже повільно впроваджується реструктуризація, щоб не припустити помилок у реформуванні та запобігти руйнуванню цілісного майнового залізничного комплексу.
- Комерціалізація перевезень відбувається тільки у пасажирському регіональному сполученні.
- Франція не підтримує приватизацію і гальмує її впровадження.
- Діяльність залізниць Франції слід визнати успішною, оскільки доходи від перевезення 1 т вантажів у два рази вище, ніж у Німеччині. Дохід від перевезення одного пасажирів у Франції також вище, ніж у Німеччині.

Висновки

Аналіз реформування структур управління розвинених європейських країн та країн за останні десять років показав:

1. Усі європейські країни, не зважаючи на вимоги директиви 91/440 ЄС, по-різному виконують реформування структури управління залізничним транспортом.

2. Визначити найкращу модель реформування можливо тільки після розробки критерію оптимальності, за яким слід порівнювати різні варіанти структур управління.

3. Для зниження вартості перевезень та залучення на залізничний транспорт нових споживачів транспортних послуг необхідно поділити залізничний транспорт на дві частини: природну монополію та конкурентне середовище. Природну монополію – інфраструктуру залізниць – слід залишити під контролем держави або держава мусить володіти контроль-

ним пакетом акцій товариства. Перевезення вантажів та пасажирів у далекому та приміському сполученні доцільно виконувати на конкурентній основі.

4. Експлуатаційні компанії – оператори за користування інфраструктурою повинні сплачувати їй орендну плату або покупати нитку графіку.

5. Розподілу залізничного транспорту на інфраструктуру та експлуатацію передують окремі облік витрат на вантажні та пасажирські перевезення, ліквідація погашення збитковості пасажирських перевезень за рахунок вантажних перевезень та підтримка пасажирських перевезень за рахунок субсидій держави.

6. Перед тим, як організувати державні пасажирські експлуатаційні компанії – оператори, потрібно розробити систему заходів щодо зниження витрат на пасажирські перевезення, підвищення їх рентабельності за рахунок збільшення обсягів доходів від транспортних та інших послуг.

7. Зміна структури управління залізничним транспортом країни потребує розробки низки законів, нормативних актів та доповнень до оподаткування для юридичного затвердження

нових стосунків між управлінською компанією, компанією інфраструктури та компаніями-операторами.

8. Реформування структури управління слід виконувати поетапно, поступово та послідовно готуючи внесення змін у діяльність нових юридичних осіб чи їх підрозділів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Указ Президента України від 11.06.98. № 615/98 «Про затвердження Стратегії інтеграції України до Європейського Союзу».
2. Директива Ради Європейського співтовариства 91/440/ЄС від 29.07.91 р. «Про розвиток залізниць у Європейському співтоваристві із змінами, викладеними у директиві ЄЕС 2001/12 від 26.02.01 р.»
3. Директива Ради Європейського співтовариства 95/19 ЄС від 19.05.95 р. «Про розподіл виробничих потужностей інфраструктури і оплати за користування інфраструктурою залізниць».
4. Железные дороги мира. 1999. № 3.
5. Железные дороги мира. 2001. № 1, 4, 6.
6. Железные дороги мира. 2002. № 2, 5, 7, 12.

Надійшла до редколегії 21.10.03.

Т. А. МУКМІНОВА (Укрзалізниця)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЕКОНОМІЧНИХ ВІДНОСИН НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Стаття присвячена питанням реформування організаційної моделі управління залізничним транспортом та визначенню ефективних обсягів централізації функцій управління компанією інфраструктури.

Статья посвящена вопросам реформирования организационной модели управления железнодорожным транспортом и определению эффективных объемов централизации функций управления компанией инфраструктуры.

The article is devoted to the questions of reforming the organizational model of railway transport management and determination of the effective degrees of centralization of an infrastructure company's managerial functions.

Вступ

Як свідчить зарубіжний досвід, функції централізації властиві залізничним системам більшості країн, що й визначає особливі підходи щодо забезпечення сталого функціонування залізничного транспорту.

Дослідження транспортного залізничного ринку та монопольно-природного характеру діяльності суб'єктів господарювання на окремих його сегментах дає підстави стверджувати, що економіка залізничного транспорту належить до змішаного типу. Відомо, що економіка змішаного типу регулюється і ринком, і державою, хоча у різних країнах на різних етапах розвитку економіки переважає то один, то інший спосіб її регулювання. В основі регулювання лежить власне ефективний розподіл обмежених ресурсів. Пануючі до останнього часу в Україні командно-адміністративні методи поєднувалися з використанням системи цін, яка виконує набагато важливішу роль в країнах з домінуванням ринкової економіки. Ринковий механізм не здатний повністю подолати обмеженість ресурсів, але він може дещо послабити, пом'якшити цю обмеженість.

В умовах обмеженості ресурсів поява конкуренції за їх використання природна. Можна її трансформувати, витіснити, обмежити, але за це доводиться сплачувати певну економічну і соціальну ціну. Тому в сучасних умовах широко використовується поєднання державних методів і ринкового механізму регулювання діяльності суб'єктів господарювання.

Питання переходу залізничного транспорту до ринкових умов досить складне. Залізниці в усіх розвинених країнах світу, по суті, є важливою складовою державного сектора, централь-

ною ланкою виробничої і соціальної інфраструктури, де дія ринкових відносин досить обмежена. Ця теза підтверджується і дослідженням ринкових відносин у сфері залізничного транспорту.

Постановка задачі

Метою наукових досліджень є визначення ефективності централізації функцій управління у сфері економічних відносин на залізничному транспорті.

Результати

Специфіка залізничної галузі (надання соціально необхідних послуг, а також перевезень, що забезпечують потреби безпосередньо держави), з одного боку, породжує необхідність в державному замовленні на продукцію залізничного транспорту, бюджетному фінансуванні, державному регулюванні тарифів на перевезення. Уточнимо, що власне державними замовленнями є військові перевезення і перевезення, пов'язані з держрезервами. У нормальних умовах їх питома вага незначна. Що ж стосується особливого періоду (війна, природні катаклізми і т. ін.), то функціонування залізничного транспорту регулюються Законом України «Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період» та відповідними положеннями Законів України «Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію», «Про транспорт», «Про оборону України». Тому для залізничних перевезень, що виконуються за держзамовленням, має бути пряме встановлення державою тарифів (можливо, тільки відшкодування витрат транспорту). На інші пе-

реверзення може бути встановлено регулювання тарифів, але тільки в частині соціального аспекту.

З іншого боку, необхідно забезпечити організаційно-економічну єдність всієї мережі залізниць загального користування, що є неможливим при монополізації, коли кожна станція, дирекція залізничних перевезень, залізниця, підприємство господарюватимуть одноосібно. У таких умовах існування єдиної транспортної системи неможливе.

Позначимо кількість продукції як Q , сукупні витрати як TC , валовий дохід як TR , а граничний дохід і граничні витрати відповідно як MR і MC . Тоді можемо записати, що граничний дохід, який, як відомо, дорівнює зміні валового доходу у результаті продажу додаткової одиниці виробленої продукції [1, с. 298], обчислюється за такою формулою:

$$MR = \frac{\Delta TR}{\Delta Q}.$$

Аналогічно розраховується величина граничних витрат [1, с. 286], що являють собою приріст сукупних витрат фірми при збільшенні нею обсягів випуску на одну одиницю продукції:

$$MC = \frac{\Delta TC}{\Delta Q}.$$

Тут Δ означає зміну змінної.

Користуючись даними [3, с. 62] та наведеними співвідношеннями, а також враховуючи те, що на залізничному транспорті одиниця продукції – це десять тонно-кілометрів перевізної роботи, можна розрахувати величину граничних витрат і граничного доходу на 10 т-км приведеної продукції (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Залізниця	Привед. продукція, млн т-км (Q)		Витрати від перевезень (у порівняних цінах), млн грн (TC)		Дохідні надходження від основної діяльності (у порівняних цінах), млн грн		ΔQ , млн т-км	ΔTC , млн грн	ΔTR , млн грн
	1999	2000	1999	2000	1999	2000			
Донецька	34780,74	38880,65	1123,70	1130,49	653,40	631,59	4099,91	6,79	-21,81
Придніпровська	48738,92	51771,38	1160,60	1189,70	1066,41	937,93	3032,46	29,10	-128,48
Південна	17541,54	19193,38	617,09	771,16	780,82	913,71	1651,84	154,07	132,89
Південно-Західна	41877,76	47269,12	827,68	979,20	1139,92	1152,27	5391,36	151,52	12,35
Одеська	39772,79	42517,77	864,98	1036,16	1317,96	1338,31	2744,98	171,18	20,35
Львівська	21224,41	25168,80	692,86	1055,86	924,98	1437,45	5931,36	151,52	512,47
Укрзалізниця	203936,16	224801,10	5286,91	6162,57	5883,49	6411,26	20864,94	875,66	527,77

Таблиця 2

Залізниця	Граничний дохід на 10 т-км привед., грн $MR(\Delta TR/\Delta Q)$	Граничні витрати на 10 т-км привед., грн $MC(\Delta TC/\Delta Q)$	Обсяг привед. продукції при $P = MC$, млн т-км *	Доходна ставка 10 т-км привед., коп.	
				2000 р. (за звітом)	При $P = MC$
Донецька	-0,050	0,0165	...	38,26	1,65
Придніпровська	-0,420	0,0960	...	30,40	9,60
Південна	0,804	0,9330	9796,39	53,83	93,30
Південно-Західна	0,023	0,2810	41006,05	27,86	28,10
Одеська	0,074	0,6240	21461,03	30,61	62,40
Львівська	1,299	0,9200	15621,06	53,71	92,00
Укрзалізниця	0,253	0,4200	152649,00	35,97	42,00

Примітка. Обсяг приведеної продукції при $P = MC$ розраховано за формулою $Q = TR/MC$.

Аналіз отриманих даних свідчить про істотну різницю у розмірах витрат на виробництво одиниці транспортної послуги на залізницях – від 1,65 коп. до 93 коп. за кожні додаткові 10 тонно-кілометрів приведеної транспортної продукції. З одного боку, такі дисторсійні явища пов'язані з наявністю перехресного субсидювання пасажирських перевезень за рахунок дохідних надходжень від вантажних перевезень. З іншого боку, це свідчить про різну собівартість перевезень у рамках кожної залізниці. Висока витратність транспортних перевезень по Південній, Львівській та Одеській залізницях при розподілі ринку транспортних послуг між шістьма суб'єктами господарювання – залізницями призведе до його дестабілізації, порушення технологічної єдності транспортного процесу, зростання цін на транспортні послуги в окремих регіонах держави. Такий стан свідчить на користь централізації функцій управління у сфері здійснення тарифної політики.

На користь централізації управління процесом формування тарифів свідчить, зокрема і той факт, що при мінімізації збитків за правилом $P = MC$ суттєво б знизилися обсяги перевезень залізницями: загальні обсяги скоротилися б на 32 %, а по залізницях, зокрема, по Львівській, скоротилися б майже на 40 %, по Одеській – на 49,5 %.

Поява від'ємного значення граничного доходу на Донецькій і Придніпровській залізницях свідчить про недосконалість механізму перерозподілу зароблених коштів між залізницями.

Справедливий розподіл доходів між учасниками перевізного процесу має базуватися на залежності ціни продукції P монопольного виробника від величини граничних витрат MC та еластичності попиту [2, с. 107], а саме:

$$P = \frac{MC}{1 + e_i^{-1}},$$

де e_i — середня еластичність попиту за дохідною ставкою.

Підставляючи в наведену формулу розрахункове значення середньої еластичності попиту за дохідною ставкою (для 2000 року $e_i = 0,68$) та граничних витрат (для 2000 року $MC = 0,42$), отримуємо величину дохідної ставки за 10 т-км приведених у розмірі 0,17 грн, що в 2,1 рази менше фактичного значення дохідної ставки у 2000 році [3].

З огляду на приведену залежність дохідної ставки від граничних витрат, а також ознак єдиного суб'єкта природної монополії (ефект ціни) можна запропонувати деякий критерій регулювання цін монопольних утворень, а саме: величина ціни продукції на монополізованому ринку має коригуватися убік половинного значення граничних витрат, тобто

$$P \rightarrow \frac{MC}{2}.$$

Враховуючи ознаки та структуру єдиного суб'єкта природної монополії на залізничному транспорті, зокрема, виникнення ефекту ціни (при існуючих розмірах ринку остання одиниця виробленої продукції є дешевшою попередньої, і відповідно зростання масштабів виробництва призводить до зниження витрат), доцільно ввести новий критерій, який до певної міри враховуватиме цілісну властивість соціально-економічної системи – коефіцієнт емерджентності.

Власне саме поняття емерджентності (*англ. emergent — раптово виникаючий*) означає виникнення у системи властивостей цілісності, тобто таких властивостей, які не притаманні складовим елементам. Емерджентність є однією з форм прояву принципу переходу кількісних змін у якісні [4].

Еволюційний розвиток національної залізничної системи можна розглядати як процес, якому притаманна дискретність і за якого внаслідок масштабного використання виробничо-технологічного ресурсу і централізації функцій управління процесом виробництва транспортних послуг виникають нові, вищі якості соціально-економічної системи, що проявляються в своїй економічній природі через виникнення ефекту масштабу і обернено пропорційної залежності розміру тарифу від обсягів транспортної роботи.

Сутність системного ефекту полягає в тому, що при спільних діях різних елементів системи забезпечується зміна їх загального ефекту до величини, більшої або меншої, ніж сума ефектів цих же елементів, що виникають порізно [5].

Для випадку залізничного транспорту України як економічної сукупності суб'єктів господарювання елементами системи є залізниці, а ефектом цих елементів (залізниць) – є дохідна ставка за 10 тонно-кілометрів транспортної роботи.

На підставі вищевикладеного коефіцієнт емерджентності для залізничної системи можна розрахувати за наступною формулою:

$$\gamma = (\bar{X} - X_{yz}) / \bar{X} = 1 - \frac{X_{yz}}{\bar{X}},$$

де $X = \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) / 6$ ($i = \overline{1, 6}$) – середньоарифметичне значень дохідних ставок залізниць; X_{yz} – значення дохідної ставки Укрзалізниці.

Розрахунки значення запропонованого коефіцієнта наведені в табл. 3. Коефіцієнт емерджентності змінюється в межах від 0 до 1, тобто при значеннях $X_{yz} = X$ $\gamma = 0$, а при $X_{yz} < X$ $\gamma \rightarrow 1$.

При $X_{yz} > \bar{X}$ коефіцієнт втрачає свій економічний зміст для оцінки економічної ефективності залізничної системи.

Таблиця 3

Дохідна ставка за 10 тонно-кілометрів тарифних, коп

Залізниця	1997	1998	1999	2000
Донецька	26,14	31,10	35,47	40,84
Придніпровська	20,67	22,92	29,92	34,12
Південна	34,13	33,96	48,60	66,71
Південно-Західна	16,87	17,99	27,74	31,69
Одеська	14,34	18,18	26,32	31,72
Львівська	23,90	28,09	37,75	60,83
Укрзалізниця (X_{yz})	21,03	23,92	32,26	30,10
Сума дохідних ставок 10 т-км тарифних по залізницях ($\sum X_i$)	136,05	176,16	238,06	306,05
Середнє арифметичне значення дохідних ставок залізниць (\bar{X})	22,68	29,36	39,68	51,01
Значення коригуючого коефіцієнта емерджентності (γ)	0,08	0,23	0,23	0,27

Висновки

Запропонований критерій за економічним змістом — це доцільність централізації управління користування інфраструктурою залізничного транспорту України як єдиного суб'єкта господарювання. Тобто умову доцільності централізації для єдиного суб'єкта господарювання можна записати в такому вигляді: $\gamma \rightarrow 1$.

При централізації управління забезпечується більш раціональне використання виробничо-технологічного потенціалу залізничної галузі.

Розраховані значення γ свідчать про слабке використання функцій інтеграції та централізації, а також про наявність тенденції (γ зростає) більш повного використання властивостей організаційно-економічної структури у сфері залізничного транспорту України.

Для загального випадку коефіцієнт емерджентності γ , що визначає економічну доціль-

ність централізації регулювання господарської діяльності економічної сукупності суб'єктів господарювання, може бути розрахований за такою формулою:

$$\gamma = 1 - \frac{ny}{\sum_{i=1}^n X_i},$$

де n – кількість суб'єктів господарювання; x_i – ціна продукції (послуги) i -го суб'єкта господарювання; y – ціна продукції (послуги) економічної сукупності суб'єктів господарювання.

У цілому введення поняття коефіцієнта емерджентності можна використовувати при оцінці ступеня цілісності внутрішньої організаційно-економічної структури як окремо взятої транспортної галузі, так і єдиного суб'єкта господарювання чи економічної сукупності суб'єктів господарювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мэнкью Н. Г. Принципы экономики. – СПб.: Питер Ком, 1999. – 784 с.
2. Наливайко А. М., Євдокимова Н. М., Задорожна Н. В. Мікроекономіка: Навч.-метод. посібник для самот. вивч. дисц. / За заг. ред. А. М. Наливайка. – К.: КНЕУ, 1999. – С. 106–109.
3. Мукмінова Т. А. Оцінка конкурентних відносин на основі вартості послуг // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: Зб. наук. пр., вип. 6. – К.: НАУ, 2001. – С. 60–65.
4. Російсько-український словник іншомовних слів. Уклад. Т. П. Мартиняк / За ред. А. П. Яреценка. – Х.: Прапор, 1999. – 392 с.
5. Орловський П. Н. Системний аналіз (основные понятия, принципы, методология): Учеб. пособие. – К.: Мысль, 1996. – 360 с.

Надійшла до редколегії 29.10.03.

ЭКОНОМИКО-ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННО НОВОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СООБЩЕНИЙ СНГ В УСЛОВИЯХ СТАНОВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО РЫНОЧНОГО ХОЗЯЙСТВА

В статье исследуются экономико-правовые проблемы и основные направления формирования нового качества системы транспортных сообщений СНГ в условиях становления современного рыночного хозяйства.

У статті досліджуються економіко-правові проблеми та головні напрямки формування нової якості системи транспортних сполучень СНД в умовах становлення сучасного ринкового господарства.

The article investigates the economical and legal issues and main directions for formation of the new quality of CIS countries' transport system in conditions of development of modern market economy.

Вступление

В условиях становления современного рыночного хозяйства наблюдаются общемировые процессы широкой региональной интеграции, научно обоснованная рационализация трансконтинентальных экономических потоков, повышение эффективности глобального экономического развития. Экономическое взаимодействие стран-участниц Содружества независимых государств (СНГ) характеризуется в этих условиях как интеграционными, так и деинтеграционными процессами. Это обусловлено возникшим разрывом хозяйственных и государственно-правовых связей, падением объемов национального промышленного производства всех государств СНГ, переориентацией внешней торговли отдельных государств СНГ на страны дальнего зарубежья, возникновением и углублением таможенных и пограничных барьеров. Вместе с тем, следует отметить, что полной дезинтеграции экономики транспортных систем стран СНГ не произошло.

Постановка задачи

Эффективность работы транспортных систем СНГ при обеспечении межгосударственных экономических связей в рамках СНГ продолжает оставаться на достаточно низком уровне. В затратах национальных экономических систем транспортная составляющая по-прежнему на высоком уровне. Национальные транспортные системы не достаточно содействуют интенсификации и повышению эффективности внутрирегиональной торговли в пределах Содружества.

Результаты

Координационное транспортное совещание (КТС) стран Содружества в 1994 году разработало и внедрило в практику хозяйствования скоординированную транспортную политику до 2000 года. Это в достаточной степени приостановило дезинтеграционные процессы транспортных систем стран СНГ. Однако кардинально не изменило существующего положения, что не способствует активному формированию на региональном уровне, уровне СНГ, современных рыночных отношений.

Глобализация экономических связей и отношений в современных условиях объективно предопределяет необходимость возрастания роли наземных транспортных коммуникаций (международных транспортных коридоров, евроазиатских транспортно-экономических сообщений) повышение роли и эффективности комбинированных перевозок.

Повышение роли транспортных сообщений СНГ, с учетом их экономико-территориального расположения, должно быть направлено на достижение эффективности взаимной внешней торговли, экономического и социального развития, интеграцию национальных транспортных комплексов в динамично развивающуюся систему европейских и мировых транспортных связей. Это предполагает дальнейшее совершенствование экономик стран СНГ, их внешнеэкономических связей, экономико-правовой системы с целью обеспечения транспортных перевозок не только в рамках СНГ, но и на уровне трансклобальных европейской и мировой систем. Анализ внешнеэкономических связей стран СНГ в период 1991–2000 гг. показал, что

товарооборот взаимной торговли сократился в 2,3 раза и составил в 2000 году 59 млрд дол. США, а совокупный ВВП снизился почти в два раза. Изменилось также качество экономических связей. Так, к 2002 году доля других стран СНГ во внешнеторговом обороте Российской Федерации составляла 18 %. Характерно, что в этот же период качественно изменились как содержание, так и характер внешнеэкономических связей стран СНГ. Если в предшествующий период экономической интеграции преобладали концентрация, специализация, централизация и кооперация общественного производства и труда, то в настоящее время – осуществляются первые подходы к процессам масштабной кооперации, интеграции, создания крупных промышленных совместных производств и транспортных систем.

Следует отметить, что в настоящее время в условиях становления современных рыночных отношений наметились определенные положительные тенденции, которые отражают процессы стабилизации торговых отношений между странами СНГ. Речь идет о стабилизации совокупного для стран СНГ товарооборота. Так, в 2001 году 88 % общего объема взаимной торговли стран Содружества осуществляли Украина, Россия, Казахстан и Белоруссия. Представляет интерес соотношение экспорта и импорта взаимного между странами Содружества. Так, Азербайджан импортирует из стран СНГ 30,8 % товарной продукции, а экспортирует в страны Содружества 10,1 % своей продукции, Армения соответственно – 24,6 % и 30,8 %; Беларусь – 71,1 % и 60,1 %; Грузия – 36,5 % и 42,9 %; Казахстан – 52,3 % и 30,3 %; Молдова – 37,4 % и 61,1 %; Россия – 27,8 % и 14,2 %; Таджикистан – 77,6 % и 34,1 %; Украина – 56,8 % и 28,9 %. Анализ показывает, что абсолютное большинство стран Содружества импортирует из стран СНГ больше, чем экспортирует в эти страны. Из этого следует, что объемы внешней торговли большинства стран СНГ с государствами дальнего зарубежья значительно превышают объемы внешней торговли внутри стран Содружества и, как показывает практика хозяйствования, продолжают расти высокими темпами. Такое положение во внешней торговле стран Содружества оказывает существенное воздействие и на экономику перевозок внутри этих стран. В этой связи объемы транзитных перевозок в третьи страны по территории стран СНГ возрастают, а внутрирегиональные перевозки сокращаются или остаются на прежнем уровне. Существенное влияние на интеграци-

онные процессы, в том числе и в области транспорта, оказывает преференциальный характер торговых отношений между странами Содружества. Страны СНГ заинтересованы в режиме свободной беспошлинной торговли, взаимного сотрудничества не только по экономическим, но и по геополитическим соображениям. Требуют качественного изменения динамика и структура внешнеэкономических связей стран СНГ, научно обоснованное определение тенденций внешней торговли, перспективных грузопотоков, их распределения по направлениям и видам транспорта.

Выводы

Успешное разрешение указанных проблем предполагает совершенствование экономико-правовой базы по обеспечению транспортных перевозок не только в рамках СНГ, но и в пределах глобальной системы европейских и мировых транспортных связей.

Во-первых, необходимо научно обоснованно провести анализ сложившихся экономико-правовых отношений по транспорту в СНГ. *Во-вторых*, необходимо на основе сравнительного анализа разработать предложения по гармонизации действующих в СНГ законов, регламентирующих международные перевозки. *В-третьих*, необходимо согласовать законодательства СНГ по транспортным системам с законодательством по функционированию систем европейских и мировых транспортных связей. *В-четвертых*, разработать систему практических мер по созданию экспедиторской индустрии. *В-пятых*, разрешить проблему безопасности и усиления мер по охране окружающей среды. *В-шестых*, выработать скоординированную стратегию и тактику сотрудничества с международными организациями, экономическими интеграционными объединениями по вопросам развития транспортных коммуникаций и международных перевозок. *В-седьмых*, разработать научное обеспечение перспектив становления, функционирования и проведения скоординированной политики стран Содружества в области интеграции транспортных систем.

Формирование качественно новой системы транспортных сообщений, ее экономики предполагает развитие скоординированной транспортной политики стран Содружества, что должно найти отражение в разработке рациональной схемы транспортных сообщений на период до 2010 года с учетом строительства международных транспортных коридоров.

Поступила в редколлегию 26.09.03.

Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДІПТ)

ТЕМПИ РЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ ОКРЕМИХ ДЕРЖАВ СВІТУ

Зміст статті передбачає аналіз темпів реформування структур управління залізничним транспортом в Німеччині, Польщі та Росії.

Содержание статьи предусматривает анализ темпов реформирования структур управления железнодорожным транспортом в Германии, Польше и России.

The contents of the article envisage an analysis of the rates of railway transport managerial structures reformation in Germany, Poland and Russia.

Вступ

З моменту прийняття Директиви ЄС 91/440, яка передбачає відокремлення експлуатаційної діяльності від володіння інфраструктурою, пройшло 10 років. Можна вважати цей період достатнім для оцінки організаційних структур, які з'явилися за цей період і утворили можливість для вирішення завдань, передбачених Європейською комісією «Європейська транспортна політика 2001 р., час для рішень».

Постановка задачі

Аналіз реформування системи управління транспортом у розвинених країнах Європи та Росії.

Результати

Одним з найбільших впливових регіональних інтеграційних об'єднань світовим товариством визнано Європейський Союз (ЄС), створений у 1957 р. Членами якого є 15 держав Європи, а саме: Німеччина, Італія, Франція, Бельгія, Нідерланди, Люксембург, Данія, Ірландія, Велика Британія, Греція, Іспанія, Португалія, Австрія, Швеція, Фінляндія.

У теперешній час всі держави центральної та східної Європи можна умовно поділити на три великі групи: держави-члени ЄС, держави-кандидати в члени ЄС та держави – потенційні кандидати в члени ЄС. Тобто, щоб увійти в третю групу необхідно повністю відповідати положенням 31 законодавчого акту ЄС. У травні 2004 р. новими членами ЄС стануть ще 10 держав, які за темпами економічного зростання наблизились до держав-членів ЄС, а саме: Польща, Угорщина, Чехія, Словаччина, Словенія, Литва, Латвія, Естонія, Кіпр та Мальта. Окрім двох останніх держав всі мають залізниці. Потенційними кандидатами є Болгарія та Ру-

мунія, вступ до ЄС яких запланований на 2007 рік, та Туреччина, час вступу якої ще остаточно не визначений.

Директива ЄС 91/440 містить правові основи приватизації залізничних підприємств європейських держав. У ст. 1 директиви подається принцип, який полягає в тому, що керівництво залізничними підприємствами держав-членів ЄС не повинно залежати від державних та політичних умов, а обсяг послуг, які вони надають, і ціна за них можуть бути встановлені без урахування цих державних та політичних умов. Поняття «залізничне підприємство» визначається ст. 3 директиви. Згідно з визначенням це поняття охоплює всі приватні або публічно-правові підприємства, головна діяльність яких полягає в наданні послуг по перевезенням залізницями вантажів і пасажирів. Надалі Директива пропонує незалежне керівництво транспортним підприємством, але на підприємства інфраструктури це положення поширювати не обов'язково. Директива розподіляє залізничні підприємства і підприємства, які займаються експлуатацією інфраструктури, в обов'язки яких також входить обладнання і поточне утримання залізничних ліній. Питання про форму власності вирішується таким чином: держава-член ЄС сама вирішує залишається вона власником інфраструктури або створюється самостійне підприємство інфраструктури.

На прикладі Німеччини розглянуто основні положення транспортної політики держав-членів ЄС, які схожі одна на одну та відрізняються лише обсягом вантажообігу. Згідно з положеннями транспортної політики ЄС в Німеччині станом на 1999 рік склалась структура, яка повною мірою відповідає потребам внутрішнього та міжнародного транспортного ринків.

Німеччина. Перший етап реформи в Німеччині розпочався в 1994 р. і тривав впродовж 5 років та був використаний для підготовки і вирішення завдань другого етапу – створення цільової структури з самостійних акціонерних товариств на чолі з холдинговою компанією. 1 січня 1994 року було засноване акціонерне товариство залізниць Німеччини – DBAG. Держава має можливість впливати на його діяльність через наглядову раду або збори акціонерів як єдиного акціонера.

На другому етапі реформи в 1999 р. підприємство Deutsche Band (залізниці Німеччини) отримує статус концерну на чолі з холдинговою компанією DBAG. На рис. 1 надана структура управління залізничним транспортом Німеччини, з якої видно – холдингова компанія є управлінською структурою, несе відповідальність за кінцеві результати діяльності залізниць, розподіляє інвестиції між дочірніми компаніями та становить суб'єкт господарювання.

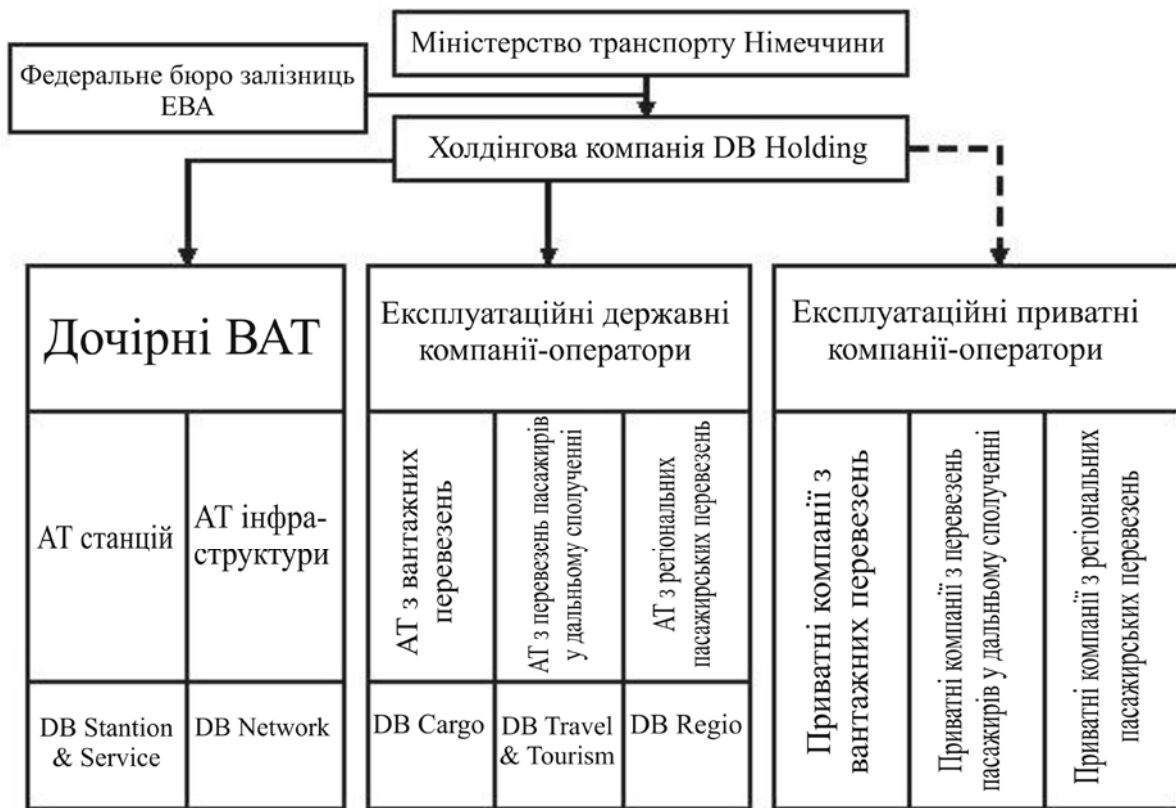


Рис. 1

Відповідальність за стан колії, засобів сигналізації, систем управління перевезеннями і електрифікації несуть компанії інфраструктури. Наступні три компанії виконують функції експлуатації.

Разом з державними АТ на ринку транспортних послуг з'являються приватні компанії, які, в свою чергу, створюють умови для конкуренції, яка сприяє зниженню цін на перевезення.

Державні функції контролю та ліцензування виконує Федеральне бюро залізниць Німеччини (EVA).

З основних результатів реформування залізниць Німеччини можна виділити збільшення обсягу наданих транспортних послуг на 10,7 % та збільшення продуктивності праці майже на 100 %.

Польща. Реформування Державних залізниць Польщі (РКР) розпочалося з прийняття у 1990 р. Закону про приватизацію державних компаній, який допускав створення акціонерних товариств із часткою РКР, яка дорівнювала 51 %. Було створено 10 таких компаній, у тому числі, у секторі логістики, виробництва і монтажу систем сигналізації і зв'язку, а також в неосновній діяльності, а саме – у видавництві та поліграфії.

У 1991–1992 рр. із складу РКР були виділені 80 підприємств з технічного обслуговування рухомого складу, виробництва вузлів та деталей, проектування і будівництва цивільних споруд.

На наступному етапі реструктуризації, який розпочався 1 липня 1997 р. були створені сектори: пасажирських перевезень; вантажних пе-

ревежень, в який увійшло тягове господарство та сектор інфраструктури. На підставі прийнятих в 1995 р. законодавчих актів в 2000 р. компанії, зайняті неосновною діяльністю в сфері лікування та іншими були перетворені в акціонерні компанії.

У вересні 2000 р. вступив в дію Закон про статут РКР як холдингової компанії, а неосновні види діяльності в 6-місячний термін були перетворені на дочірні підприємства у формі акціонерних компаній або товариств з обмеженою відповідальністю. Холдингова компанія РКР вступила в права 1 січня 2001 р. Крайнім терміном було визначено 30 червня цього року для створення дочірніх акціонерних компаній. Чотири компанії вклались в означений термін та отримали концесії строком на 50 років.

До другої групи входять компанії формально засновані до 30 червня 2000 р., що розпочали свою діяльність пізніше, а саме: компанія Ferpol з матеріального забезпечення рухомого

складу, постачання палива та утилізації списаної техніки та компанія Fomacia, яка керує мережею аптек.

Оператор перевезень в міжнародному сполученні РКР Intercity розпочав свою роботу 1 вересня 2001 р. У цей строк планували почати до комерційну діяльність дев'ять компаній з обслуговування інфраструктури і дві – рухомого складу.

До третьої найбільш важливої групи входять компанії, які мають відношення до завершувального етапу комерціалізації та, можливо, приватизації. З 1 жовтня 2001 р. почала діяльність компанія інфраструктури PLK і два оператори: регіональних пасажирських перевезень і вантажних перевезень. Водночас з ними розпочнуть самостійно працювати ще три компанії: тяги, телекомунікацій та інформаційних технологій. На рис. 2 надана існуюча структура управління державними залізницями Польщі.



Рис. 2

Метою реструктуризації РКР шляхом створення холдингової компанії та дочірніх підприємств є орієнтація на досягнення фінансової незалежності галузі. Європейський банк реконструкції та розвитку підтримав РКР і надав до-

помогу у вигляді кредиту в 100 млн євро в грудні 2000 р. та 110 млн євро – в березні 2001 р.

Водночас із реформуванням структури управління передбачено поетапне скорочення чисельності персоналу з 169 до 153 тис. чол.

Майже рік по тому можна підвести перші підсумки реформування польських залізниць. По-перше, прийнята Польщею реформа залізниць є однією із самих прогресивних в Європі (крім Великобританії) за умовами приватизації, передбаченої Законом від 8 вересня 2000 р.

По-друге, з'явилися умови для реальної конкуренції, монополізм РКР як головного національного перевізника залишився в минулому. Але для збереження і відродження залізничного транспорту Польщі необхідно узгоджувати транспортну політику із процесами вступу до Європейського Союзу.

З негативних наслідків необхідно відмітити погіршення фінансового стану РКР, борги якої перевищили 7 млрд злотих. Причину погіршення можна визначити в низькому рівні управління і недосконалості концепції реформи. Головне джерело збитків РКР – пасажирські перевезення. За оцінками РКР для компенсації збитків по пасажирських перевезеннях необхідна дотація з бюджету в обсязі 1,2 млрд злотих в рік, але ця цифра не прийнята міністерством фінансів через відсутність чіткого розподілу витрат за видами перевезень.

Одним з важливих завдань є упорядкування діяльності підприємств, які входять в РКР, та аналіз необхідності збереження всіх створених підприємств. Особливу увагу слід приділити розподілу функцій між підприємствами, виключити випадки перехресного управління деякими функціями.

Особливу уваги привертає питання приватизації. В Європі тільки залізниці Великобританії виведені з-під державного контролю, але не всі прийняті там рішення є успішними. В свою чергу, британський досвід не повинен використовуватись як негативний аргумент проти приватизації. Вступ Польщі до ЄС і пов'язана із цим лібералізація ринку залізничних послуг, а також передбачена в законах Польщі можливість отримання концесій на право виконання перевезень припускає появу приватних підприємств на залізничному транспорті. Існує група підприємств, які рекомендовано приватизувати в першу чергу. Ще до вступу в ЄС повинна бути закінчена модернізація дільниць, які входять до транс'європейських коридорів. Після вступу до ЄС модернізація пошириться на інші дільниці місцевих і міжрегіональних ліній, які доповнюють основну мережу.

Можна зробити припущення, що подальше реформування залізниць передбачає фінансування за рахунок довгострокових кредитів та гарантованих державою облигацій.

Росія. Залізничний транспорт складає основу транспортного комплексу Російської Федерації та має велике економічне, оборонне, соціальне та політичне значення. Залізничні перевезення в значній мірі впливають на стан російської економіки. У зв'язку з географічними умовами країни та особливостями розташування виробництва основні об'єми перевезень товарів виконуються залізничним транспортом.

Залізниці Росії займають перше місце в світі по протяжності електрифікованих магістралей та кількості електровозів, друге (після США) – за експлуатаційною довжиною, рівною 125,9 тис. км (7 % світової мережі), третє – за вантажообігом (після Китаю та США) та за чисельністю пасажирів (після Японії та Індії). Доля залізниць у сумарному вантажообігу всіх видів російського транспорту загального користування складає понад 80 % (в США – 50, в Східній Європі – 30), а в пасажирообігу – понад 41 %.

У галузі залізничного транспорту працюють 1,5 млн чоловік. До її складу входять 17 залізниць, 94 підприємства по ремонту рухомого складу, виробництву машинобудівної продукції, галузевий ремонтно-будівничий комплекс з проектно-вишукувальними організаціями, підприємства торгівлі (4777) та громадського харчування (1430), установи охорони здоров'я, освіти, культури та спорту.

Зношення основних виробничих фондів на залізницях Росії складає більше, ніж 45 %, понад 20 % тепловозів та 30 % електропоїздів знаходяться за межами встановленого терміну служби. Третина вантажних вагонів випущена до 1973 р. та за міцністю не задовольняє нормативам. Морально та фізично застаріли система зв'язку та пристрої електрифікації, в тяжкому стані знаходяться колійне господарство та ремонтні підприємства. Тому необхідність реформування залізничного транспорту Росії має об'єктивний характер. Вартість залізничних перевезень суттєво впливає на ефективність промислового виробництва в Росії, для підтримки її економіки необхідно максимально знизити залізничні тарифи. Після лібералізації цін в 1992 р. темпи зростання тарифів на перевезення вантажів збільшилися у порівнянні з темпами зростання цін в інших галузях промисловості через скорочення державної підтримки федерального залізничного транспорту і переходу на масштабне перехресне субсидювання пасажирських перевезень за рахунок вантажних.

Внаслідок цього рівень транспортних витрат

став непосильним для багатьох підприємств різних галузей народного господарства. Все це вимагає структурної реформи федерального залізничного транспорту. Уряд Російської Федерації 15 травня 1998 р. затвердив Постанову № 448 «О концепции структурной реформы федерального железнодорожного транспорта». Основною метою реформи є зниження сукупних народногосподарських витрат на перевезення залізничним транспортом на підставі:

- надання умов для демонополізації окремих сфер діяльності залізничного транспорту і розвитку ринкової конкуренції, доступності інфраструктури залізниць для користувачів різних форм власності;

- зменшення витрат, які фінансуються за рахунок тарифу на перевезення залізничним транспортом шляхом усунення перехресного субсидіювання різних видів перевезень, а також введення бюджетного фінансування витрат на задоволення суспільних потреб;

- посилення державного контролю введенням економічно обґрунтованих тарифів на залізничному транспорті, недопущенням зловживань монопольним становищем на ринку транспортних послуг, а також на ринках з виробництва товарів і послуг для залізничного транспорту;

- створення противитратного економічного механізму діяльності підприємств і організацій залізничного транспорту.

Внаслідок реалізації першого етапу структурних перетворень, передбачених Концепцією і внутрішньогалузевою діяльністю по зменшенню експлуатаційних витрат, була досягнута основна мета, яка проводиться в останні три роки реформ – зниження сукупних народногосподарських витрат на перевезення залізничним транспортом. У 1999 р. навантажування вантажів зросло на 13,5 %, вантажообіг – на 17,7 %, пасажирообіг – на 11,5 % в порівнянні з попереднім роком. Ці тенденції збереглися і в першому півріччі 2000 р. У порівнянні з аналогічним періодом 1999 р. навантажування збільшилось на 14,9 %, вантажообіг – на 17,9 %, пасажирообіг зріс на 25,9 %.

У розробці проекту Концепції розвитку структурної реформи брали участь не тільки співробітники центрального апарату Міністерства шляхів сполучення Росії, але і працівники залізниць, фахівці та експерти з цілого ряду міністерств і державних структур. Проведені робочі наради з начальниками залізниць, начальниками відділків залізниць, представниками Російської профспілки залізничників і

транспортних будівників. На розширеному засіданні Колегії МШС Росії 16 серпня 2000 р. були схвалені основні положення проекту Концепції. Уряд Російської Федерації на засіданні 9 листопада 2000 р. затвердив основні цілі, задачі і принципи реалізації структурної реформи і доручив МШС Росії спільно з іншими міністерствами до 1 квітня 2001 р. розробити Програму структурної реформи залізничного транспорту.

Постановою № 283 від 6 травня 2003 р. Урядом Росії схвалена Програма структурної реформи залізничного транспорту, яка передбачає провести реформування галузі в три етапи.

Перший етап (2001–2002) включає наступні основні положення:

- розробка проектів законодавчих і інших нормативних правових актів, необхідних для реалізації програми структурної реформи на залізничному транспорті;

- розвиток конкурентного сектора в сфері залізничних перевезень, в тому числі створення вантажних компаній-операторів, що володіють власним рухомим складом;

- створення умов для не дискримінаційного доступу до інфраструктури залізничного транспорту користувачів послуг, що надаються на залізничному транспорті;

- інвентаризація майна підприємств залізничного транспорту;

- розділення на залізничному транспорті функцій державного регулювання і господарського керування, створення відкритого акціонерного товариства «Російські залізниці»;

- формування в рамках відкритого акціонерного товариства «Російські залізниці» самостійних структурних підрозділів для здійснення окремих видів підприємницької діяльності на залізничному транспорті.

Другий етап (2003–2006) передбачає:

- реорганізацію відкритого акціонерного товариства «Російські залізниці» шляхом виділення в дочірні акціонерні товариства самостійних структурних підрозділів, що здійснюють окремі види підприємницької діяльності на залізничному транспорті;

- поетапне скорочення перехресного субсидування;

- створення умов для підвищення рівня конкуренції в сфері вантажних і пасажирських перевезень;

- перехід до вільного ціноутворення в конкурентних секторах;

- створення умов для придбання компаніями-операторами магістральних локомотивів;

– залучення інвестицій для розвитку залізничного транспорту.

На третьому етапі (2006–2010) реформування залізничного транспорту продовжиться залучення інвестицій для розвитку залізничного транспорту шляхом продажу пакетів акцій дочірніх товариств, відкритого акціонерного товариства «Російські залізниці» та інших акціонерних товариств, створених на залізничному транспорті за участю державного капіталу.

Розвиток конкуренції в залізничних перевезеннях приведе до підвищення якості й асортименту послуг і до підвищення ефективності залізничного транспорту, збільшення його дос-

тупності. Реалізація програм структурної реформи і розвитку галузі дозволить найближчі п'ять років домогтися корінного поліпшення техніко-економічних показників, а саме: обіг вагона скоротити до 6,6 діб, довести середню вагу поїзда до 4100 т, середньодобовий пробіг локомотива – до 600 км, збільшити продуктивність праці в два рази з одночасним зниженням собівартості перевезень на 26 % і підвищенням їх прибутковості на 30 %. Таким чином, цілком ймовірно, що структура управління російськими залізницями може бути наведена у вигляді, який наданий у статті на рис. 3.

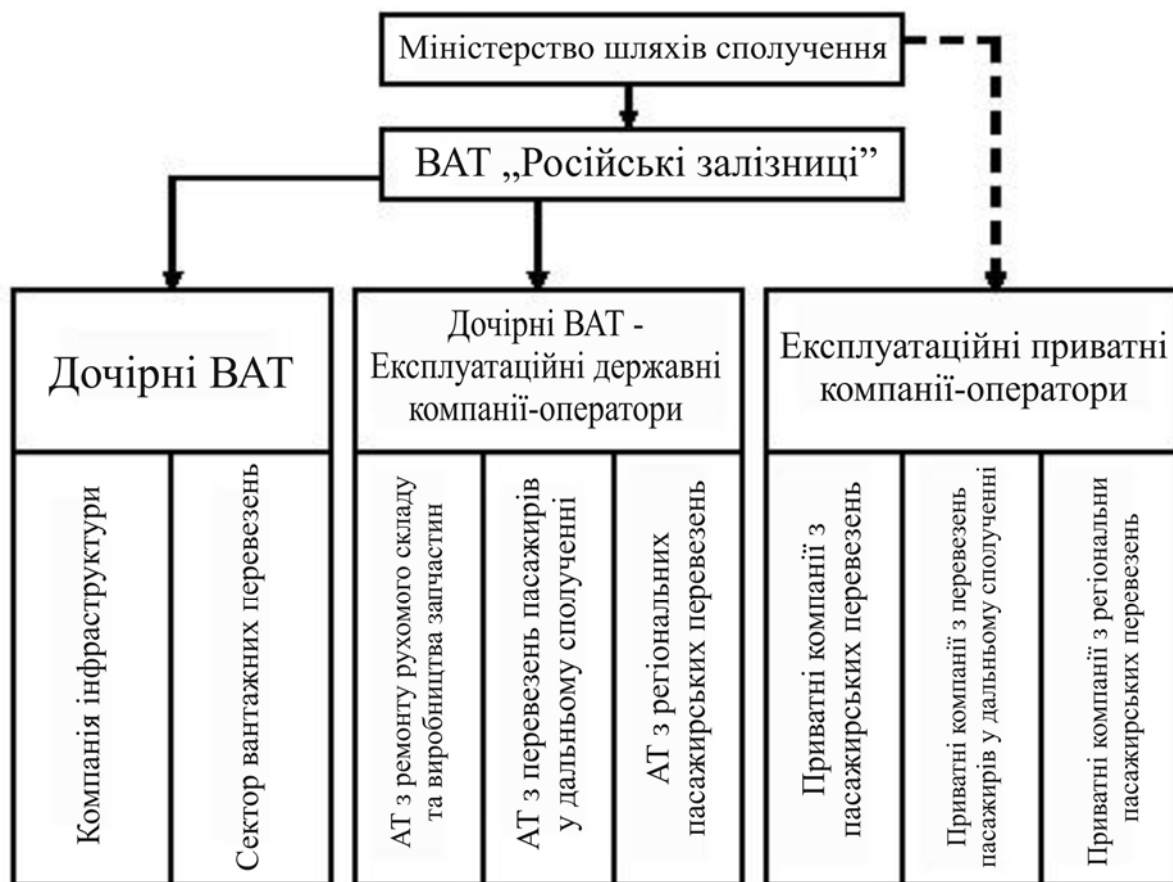


Рис. 3

Висновки

Вважається за доцільне збільшити географію держав для аналізу темпів реформування системи управління залізничним транспортом. Тобто вийти за межі Європи, врахувати досвід держав Євразійського континенту взагалі, а саме Китаю та Японії. Проаналізувати також досвід залізниць держав НАФТА – США та Канади. Ознайомитись з темпами реформування залізниць держав СНД. Урахувати досвід роботи з цього напрямку держав Балтії.

За результатами досліджень відпрацювати єдиний критерій для вибору оптимальної структури управління залізничним транспортом за будь-яких умов функціонування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 142 с.
2. Наказ МТУ № 764 від 05.11.01. «Про Концепцію розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року».

3. Директива 91/440 ЄС від 29.07.91. // Офіс'єль № L 237 від 24.08.91.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.05.98. № 448 «О концепции структурной реформы федерального железнодорожного транспорта».
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 06.05.03. № 283 «Об утверждении плана мероприятий по реализации Программы структурной реформы на железнодорожном транспорте на 2003–2005 гг.».

Надійшла до редколегії 29.10.03.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 1

Українською, російською та англійською мовами

Відп. за випуск *І. П. Корженевич,*
Комп'ютерна верстка *О. М. Бармакова,*
Коректори *Т. В. Щепоткіна, Т. В. Мацкевич*

ДК № 1315

Здано до набору 31.10.03. Підписано до друку 27.11.03. Формат 60x84 1/8.

Папір офсетний. Друк різнограф. Умов. друк. арк. 20,46.

Обл.-вид. арк. 21,7. Тираж 200 прим. Замовлення № 3106.

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2

Друкарня Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2