

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 16

Дніпропетровськ
2007

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

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

Випуск 16

Дніпропетровськ
2007

Редакційна колегія:

Головний редактор д-р техн. наук *Пишійко О. М.*
Заступник головного редактора д-р техн. наук *Мямлін С. В.*
Члени редколегії: д-р біолог. наук *Дворецький А. С.*;
д-ри техн. наук *Блохін С. П., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А.,*
Браташ В. О., Вакуленко І. В., Гетьман Г. К., Дубинець Л. В.,
Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Загарій Г. І., Казакевич М. І.,
Колесов С. М., Коротенко М. Л., Костін М. О., Курган М. Б.,
Петренко В. Д., Пунагін В. М., Радкевич А. В., Разгонов А. П., Рибкін В. В.,
Скалозуб В. В., Хандецький В. С., Шафіт Є. М.;
д-ри фіз.-мат. наук *Гаврилюк В. І., Кравець В. В.*;
д-ри хім. наук *Біляєв М. М., Нейковський С. І., Федін О. В.*;
д-ри екон. наук *Бабіч В. П., Драгун Л. М., Зайцева Л. М.*
Крамаренко В. Д., Покотілов А. А.;
Відповідальний секретар канд. техн. наук *Корженевич І. П.*

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

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 25.06.2007, протокол № 13

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка
В53 В. Лазаряна. – Вип. 16. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна,
2007. – 117 с.

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

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

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

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

ББК 39.2

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

В. В. МАЛОВІЧКО, В. І. ГАВРИЛЮК (ДІТ) АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ . . .	5
В. В. МАЛОВІЧКО, В. І. ГАВРИЛЮК, В. Я. КІЗЯКОВ (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ . . .	9
О. Н. КАРПОВ, О. А. САВЕНКОВА (ДНУ) СИНТЕЗ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ БЛОКА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ . . .	13

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ, Е. Ю. ГУНЬКО, П. Б. МАШИХИНА (ДИИТ) ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ . . .	18
---	----

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

Г. К. ГЕТЬМАН, С. Н. ГОЛИК (ДИИТ) ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ . . .	21
---	----

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ, А. В. ГОЦ (ДИИТ) СМЯГЧЕНИЕ РУКОВОДЯЩЕГО УКЛОНА В КРИВЫХ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ТРАНСПОРТЕ . . .	26
М. Б. КУРГАН, О. С. МАРКОВА (ДІТ) ВПЛИВ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РУХУ ПОЇЗДІВ . . .	29
М. Б. КУРГАН, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДІТ), Б. І. ТОРОПОВ, В. Є. СМЯЛКОВСЬКИЙ (Київдїпротранс) РЕТРОСПЕКТИВНИЙ ОГЛЯД КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА КАТЕГОРІЯМИ . . .	37
В. І. ХАРЛАН (Львівська залізниця), Д. М. КУРГАН, І. О. БОНДАРЕНКО (ДІТ) ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ . . .	41

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

В. В. АРТЕМЧУК, А. А. БОСОВ (ДИИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБОРОВ ПРЕДИКТОРНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ПО ОРИЕНТИРОВАННОМУ ГРАФУ ЛОКАЛЬНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ . . .	45
В. И. БОБРОВСКИЙ, Р. В. ВЕРНИГОРА, В. В. МАЛАШКИН (ДИИТ) КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ . . .	50
А. А. БОСОВ (ДИИТ), Г. Н. КОДОЛА (УкрГХТУ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТОКОВ НА ГРАФЕ . . .	58
А. А. БОСОВ, Л. Н. САВЧЕНКО (ДИИТ) МНОГОМЕСТНЫЕ ФУНКЦИИ МНОЖЕСТВ . . .	63
Н. А. ЛОШКАРЕВ (ПГАСА) ОБОБЩЕНИЕ «ВЕЛИКОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА» НА СУММУ СТЕПЕНЕЙ НЕЗАВИСИМЫХ И НЕОДИНАКОВЫХ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ . . .	66

Ю. Д. ПОЛИССКИЙ (НИИАСМ) АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ НА ДВА В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ .	68
--	----

РОЗДІЛ «РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

Д. М. КОЗАЧЕНКО, М. І. БЕРЕЗОВИЙ, О. І. ТАРАНЕЦЬ (ДІТ) МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ВІДЧЕПІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .	73
---	----

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

С. А. АЛПЫСБАЕВ, Р. К. САТОВА, Д. Г. МУХАМБЕТОВ, А. Д. МУХАМБЕТОВА (Казахская академия транспорта и коммуникаций им. Тынышпаева) СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА КАЗАХСТАНА .	77
Е. П. БЛОХИН, В. Я. ПАНАСЕНКО, И. В. КЛИМЕНКО (ДИИТ) О КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВОГО ПРИВОДА КЛАССА II ЛОКОМОТИВА .	81
С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), В. И. ПРИХОДЬКО (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод») ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .	85

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

Ю. М. ГОРБАТЮК, В. М. КОСЯК, С. І. ОЛЕФІРЕНКО (ДІТ) КОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ ДЛЯ ШВИДКОГО НАВЕДЕННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ .	90
Б. Г. КЛОЧКО, А. В. КРАСНЮК, В. А. МОМОТ (ДИИТ) ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ДЛЯ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОД ВОДОЙ .	95
И. Д. ПАВЛОВ (ЗГИА), А. В. РАДКЕВИЧ (ДИИТ), Ф. И. ПАВЛОВ (ПГАСА) ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА .	98
А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК (ДИИТ), В. В. ПАЛИЙ (УКРЗАЛІЗНИЦЯ) АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ .	101
А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, Т. В. УЛЬЧЕНКО (ДИИТ) ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕМОНТНЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ АЛКИЛРЕЗОРИНА .	104
А. С. РАСПОПОВ, С. П. РУСУ, В. Е. АРТЕМОВ (ДИИТ) ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ЛАГРАНЖА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ «МОСТ-ПОЕЗД» .	109

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

Є. І. БАЛАКА, О. В. СЕМЕНЦОВА, О. Л. ВАСИЛЬЄВ (Українська державна академія залізничного транспорту) ВИЗНАЧЕННЯ СОБІВАРТОСТІ ТА ТАРИФІВ НА ПРИМІСЬКІ ЗАЛІЗНИЧНІ ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ .	115
С. А. КОРЕЦКАЯ (ДИИТ) ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЛОГИСТИКИ .	121
А. Н. ПШИНЬКО (ДИИТ), Е. А. ЛОГВИНЕНКО, Е. В. ЩИПАНОВА, Е. Ю. БУРЯК (ДНУ) АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА НОВЫХ ВИБРОПЛОЩАДКАХ .	126
А. В. РАДКЕВИЧ, С. О. ЯКОВЛЄВ (ДІТ) ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ .	131

В. В. МАЛОВІЧКО, В. І. ГАВРИЛЮК (ДІПТ)

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Проведено аналіз основних відмов стрілочних двигунів постійного струму з послідовним збудженням, запропоновано автоматизований пристрій для виявлення відмов електричних двигунів по кривих споживання струму в умовах експлуатації на залізничних станціях без перерви в роботі стрілок.

Проведен анализ основных отказов стрелочных двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением, предложено автоматизированное устройство для обнаружения отказов электрических двигателей по кривым потребляемого тока в условиях эксплуатации на железнодорожных станциях без перерыва в работе стрелок.

The analysis of the basic defects of the railway direct current switches with consecutive excitation have been provided, the automated device for detection of electric motors defects by a consumed current curves analyses under operating conditions at railway stations without interruption in work of switches has been proposed.

Вступ. Для забезпечення надійної роботи систем регулювання рухом поїздів нормативними документами передбачено проведення періодичного контролю параметрів апаратури залізничної автоматики як безпосередньо під час експлуатації, так і в ремонтно-технологічній дільниці (РТД) дистанції сигналізації та зв'язку [1]. Недоліком існуючої технології контролю є необхідність значних затрат ручної праці, часу та проблематичність своєчасного виявлення та попередження можливих відмов пристроїв. Це зумовлює необхідність розробки систем автоматизованого діагностування пристроїв залізничної автоматики. Одною з основних задач при розробці таких систем є побудова тестів та алгоритмів діагностування, які дозволили б з високою достовірністю провести контроль технічного стану пристроїв залізничної автоматики, а при виявленні дефекту локалізувати його з заданою точністю. В роботі [2] авторами на основі аналізу статистичних даних визначено фактори, що є важливими для розробки раціональних алгоритмів діагностування колійних пристроїв електричної централізації (ЕЦ) [3], а саме частоту їх відмов, ступінь впливу відмов на затримку поїздів, час, необхідний на усунення дефекту, економічні втрати та інше. Діагностування систем проводиться за певними діагностичними признаками. Правильність їх вибору є основою розробки якісних тестів.

Метою даної роботи є розробка автоматизованого пристрою для контролю основних параметрів стрілочного електроприводу, що дозволяє проводити виміри без виключення стрілок з поїзної та маневрової роботи.

Аналітичний огляд. Більшість стрілочних приводів, які експлуатуються в даний час на залізницях України, приводяться в дію за до-

помогою електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням якоря.

Серед можливих відмов електродвигунів найхарактернішими є наступні: відпай пластин колекторів, обрив секції, поганий контакт в щітках, обрив обмоток, міжвиткове коротке замикання, коротке замикання в обмотці статора [2].

Основними причини порушення роботи щіток і колектора є наступні:

- колектор забруднюється вугільним пилом від щіток і, якщо вчасно його не очистити, виникає іскріння між щітками і колектором, яке їх поступово руйнує;

- ізоляція колектора знижується за рахунок вологи і вугільного пилу, або підгорає через неякісну проточку якоря;

- погане натиснення щіток на пластини; зсув щітки щодо нейтралі і затискання щіткотримача гайкою за рахунок невідповідності розміру втулки щіткотримача;

- замикання на колекторі через з'єднання виводів внаслідок недбалого паяння вивідних кінців секцій обмоток до пластин колекторів або металевих задирок, що утворилися в процесі обточування колектора [3; 4].

Іноді при роботі двигуна спостерігається перегрів підшипників. Таке явище частіше за все викликано механічним руйнуванням підшипника, підвищеним тертям між сальником і валом або відсутністю осьового люфта. Перегрів електродвигуна у зв'язку з короточасним повторним характером роботи двигуна можливий тільки при короткому замиканні пластин колектора або секцій якоря [5].

Перевірка стрілочних двигунів при періодичних оглядах. При періодичних оглядах стрілочних електроприводів [1] електро-механік СЦБ повинен виконати наступні дії по

перевірці стрілочних двигунів постійного струму з послідовним збудженням.

Огляд колектора й щіткотримачів двигуна. Провертаючи колектор, проводиться очищення його чистою тканиною, змоченою бензином. Після чищення необхідно оглянути поверхню колектора. Колекторні пластини не повинні підніматися одна над іншою і не мати раковин від підгоряння, між пластинами мають проглядатися проточки на глибину 1 мм. При прокручуванні колектора необхідно стежити, щоб не розмикалися контрольні контакти автоперемикача. Перевірити щіткотримач і щільність притиснення вугільних щіток до колекторних пластин, очистити щіткотримач від вугільного пилу. Особливу увагу варто звернути на облягання колектора всією поверхнею щіток, відсутність перекосу щіток і надмірного їхнього зношування. Вимірювальним приладом має бути перевірено відсутність обриву секцій якоря, для чого при виключеному курбельному контакті підключити прилад до щіток і повільно повернути якір на повний оборот. При справному стані секцій омметр покаже опір якоря, значення якого наведені в технічній карті № 17, табл. 1 у випадку обриву прилад покаже значення опору, в 2 рази більше, або нескінченність.

Перевірка струму, споживаного електродвигуном при нормальному переведенні стрілки й роботі електродвигуна на фрикцію. Дану роботу, як правило, об'єднують із перевіркою стрілки на щільність прилягання вістряків. Виконується перевірка електромонтером або електромеханіком. Електромеханік, погодивши роботу із ДСП, відкриває електропривід, підключає амперметр до курбельних контактів і робить запит до ДСП про переведення кількох разів названої стрілки. Електромонтер закладає шаблон між вістряком і рамною рейкою. Електромеханік під час роботи двигуна на фрикцію вимірює амперметром струм при переведенні стрілки в плюсове «+» та мінусове «-» положення і записує ці значення на окремий лист. Шкала амперметра повинна дозволити визначати значення струму з точністю до 10^{-1} А. Визначивши струм електродвигуна при роботі на фрикцію, вимірюють струм нормального переведення. Значення струму визначається по максимальному відхиленню стрілки амперметра. Отримані значення струмів необхідно порівняти з нормативним значенням, що зазначено в журналі технічної перевірки форми ШУ – 64. Крім того значення струмів електродвигуна при роботі на фрикцію при переведенні стрілки в «+» і «-» положення не повинне перевищувати на 10 % від середнього арифметичного значення обох струмів.

Якщо при нормальному струмі фрикції стрілка погано переводиться, то це означає, що в стрілочному переводі є дефекти конструкції, або утримання його не проводиться належним чином й потрібно його ретельна перевірка. У випадках коли амперметр, установлений на пульті-табло, забезпечує необхідну точність, дозволяється перевіряти струм без підключення амперметра в приводі.

Вимір напруги на електродвигуні при роботі на фрикцію. Один раз у рік електромеханік разом з електромонтером вимірює напругу на електродвигуні при роботі на фрикцію. Вимір проводиться, як правило, при перевірці стрілок на щільність прилягання вістряка. Електромонтер закладає шаблон між вістряком і рамною рейкою, електромеханік вимірює напругу, а ДСП переводить стрілку. Вимірювальний прилад підключають до початку переведення стрілки до середнього й крайнього виводів (робочі для даного напрямку руху). При зворотному переведенні напругу вимірюють на інших робочих виводах. Напруга на електродвигуні при роботі приводу на фрикцію не повинна бути нижче номінальної.

Для визначення справності електродвигуна необхідно перевірити опір ізоляції обмоток електродвигуна відносно корпусу, опір обмоток збудження, якоря, стан колектора й щіткового вузла.

Опір ізоляції обмоток електродвигуна з монтажем відносно корпусу вимірюють мегаомметром напругою 500 В. Вивід приладу «Земля» підключають до корпусу, а вивід «Лінія» – до однієї з вивідних клем електродвигуна. Ізоляція обмоток електродвигуна, що перебуває в експлуатації, з монтажем повинна бути не менш 5 Мом. Опір ізоляції знову встановлюваного електродвигуна повинна бути не менше 100 МОм.

Опір обмотки збудження перевіряється приладом на шкалі виміру опору. Перед виміром монтаж з контактної гвинта електродвигуна знімають. Один з виводів приладу підключають до крайньої вивідної клем електродвигуна, а інший – до лівої щітки колектора. Опір другої обмотки збудження вимірюють аналогічно. Опір обмотки якоря вимірюють підключенням приладу до щіток електродвигуна при замкнутому курбельному контакті. Для перевірки цілісності кожної пайки колектора потрібно повільно повернути якір на повний оберт. У справному стані обмотки, омметр буде показувати опір якоря. У випадках забруднення колектора прилад покаже завищений опір, а при міжвиткових замиканнях – занижене.

У зборі з щітками якір електродвигуна утворює два паралельні ланцюги, кожен з яких складається з 12 секцій якоря, з'єднаних послідовно через колекторні пластини [6]. У випадку обриву секції в одному з паралельних ланцюгів якоря

прилад покаже значення опору, в 2 рази більше, тому що в цьому випадку ланцюг буде проходити тільки через один з паралельних ланцюгів. При обриві двох і більше секцій, прилад покаже в одному з положень якоря нескінченність (обрив). Колектор і щітковий вузол перевіряється візуально. Крім того, необхідно перевіряти ступінь іскріння під краєм щітки і її зношування. Зношування щіток допускається до 40 %. Іскріння на колекторі електродвигуна типу МСП не повинне бути вище другого ступеня. Несправні електродвигуни ремонтуються в РТУ дистанції. Відремонтовані електродвигуни повинні мати оцінку РТУ про перевірку. Після заміни електродвигуна обов'язково перевірити струм при номінальному переведенні стрілки й роботі електродвигуна на фрикцію. Заміну електродвигунів реєструють в спеціально виділеному для цієї мети журналі, що зберігається в електромеханіка. Перед заміною електродвигуна перевіряється відповідність робочої напруги номінальному зазначеному на паспортній бірці, легкість обертання якоря й наявність поздовжнього люфта.

Всі ці виміри потребують значних затрат часу з боку працівників служби Ш, а також тимчасового вилучення стрілки з роботи, так як всі перевірки виконуються при відкритому стрілочному приводі і вимкненому курбельному контакті, або потребують контрольних переводів стрілки. Тому актуально створити систему автоматичної перевірки стану стрілочних двигунів.

Метод вимірювання кривої споживання струму в автоматичному режимі. Для діагностики двигунів СП з використанням датчиків, необхідно в стрілочному переводі встановити датчики, які контролюватимуть стан стрілочного двигуна. Також необхідні додаткові жили кабелю для передачі інформації від датчиків на вирішальні пристрої. Це пов'язано з великими додатковими капіталовкладеннями. Запропонована система діагностики стрілочного електродвигуна не потребує додаткових датчиків і працює без перешкод для нормального функціонування ЕЦ. Винести рішення про справність і працездатність двигуна ми можемо по кривій споживання струму. Для реєстрації споживаного струму, необхідно створити наступну підсистему діагностики (рисунок). В робочий коло СП в дроти Л1 і Л2 встановлюємо резистор з невеликим опором R_1 (1–2 Ом). Значення опору взято за умови, що воно має бути меншим, ніж опір двигуна у момент пуску (декілька Ом). Напруга на резисторі R_1 пропорційна струму стрілочного двигуна. Сигнал з резистора подається на пристрій узгодження (УС1). Пристрій узгодження є дільником напруги, де вхідний сигнал перетворюється до рівня, який можна подавати на вхід АЦП. Резистори R_1 і блоки УС1

встановлюються окремо для кожної стрілки і розміщуються в релейній кімнаті поста ЕЦ.

Пристрій для контролю стану стрілкового переводу містить резистори $R_1, \dots, R_{n-1}, R_n$, котрі ввімкнені в робочі ланцюги живлення стрілкових приводів станції, приєднаних до входів перетворювачів (дільників напруги), виходи котрих підключені до входів блоків гальванічної розв'язки котрі в свою чергу передають сигнал на вхід мультиплексора. Вихід мультиплексора підключений на вхід аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), а з виходу АЦП подається на регістр вихід якого підключений до входу мікропроцесора, котрий в свою чергу зв'язаний з портом електронно обчислювальної машини. Датчики реєстрації переводу стрілки підключені до ланцюгів керування стрілковими переводами в пульті – табло і їх виходи підключені до блоку узгодження рівнів сигналів, виходи котрого підключені до блоку реєстрації початку переведення стрілок, котрий своїми виходами підключений до мультиплексора, вихід якого підключується на вхідний порт МК. Виходи МК підключені на керуючі входи мультиплексорів, а виходи ПК підключені до лінії диспетчерського контролю, та на блок відображення інформації.

Принцип функціонування пристрою діагностики стрілочних переводів. При переключенні ДСП стрілкового комутатора і подачі команди на перевод стрілки датчик переводу стрілки підключений до ланцюга керування стрілковими переводами реєструє команду на переведення даної стрілки. Його вихід підключений до блоку узгодження рівнів сигналів у якому автоматично і відбувається гальванічна розв'язка, і з виходу якого сигнал подається до блоку реєстрації початку переводу стрілок. Мікроконтролер із заданою періодичністю підключає вихід блоку реєстрації на вхід мультиплексора, и циклічно перевіряє наявність сигналу на всіх його входах. Визначивши на якому саме вході мультиплексора є сигнал мікроконтролер визначає номер стрілки яка буде зараз переводитись і відповідно подає сигнал на другий мультиплексор, який підключає на вхід АЦП саме той свій вхід котрий зв'язаний з стрілкою яка переводиться. Вся ця процедура відбувається за дуже малий проміжок часу і мікроконтролер встигає настроїтися на прийом сигналу від АЦП за час, який проходить між включенням реле НПС та реле ППР схеми керування стрілкою. Момент коли спрацьовує ППР вже записується в мікроконтролер. Після спрацьовування ППР по резистору R починає протікати робочий струм, котрий проходить через перетворювач попадає до блоку гальванічної розв'язки далі через відкритий мультиплексор проходить на аналого-цифровий перетворювач, в якому оцифровується і в цифровій формі передається на регістр-замикач з якого циклічно

зчитується мікроконтролером. При використанні сучасних блоків АЦП, схема спроститься, так як не потрібний блок гальванічної розв'язки (в АЦП є своя гальванічна розв'язка). Оцифрована форма кривої споживання струму електродвигуном стрілочного переводу записується в пам'ять мікроконтролера і потім передається в персональний

комп'ютер. В персональному комп'ютері крива струму порівнюється з ідеальною кривою і по результатах цього порівняння виносяться рішення про стан стрілкового переводу. Криві зберігаються в масиві на протязі певної кількості циклів, що дає нам змогу бачити розвиток поступових відмов та прогнозувати час виходу із ладу.

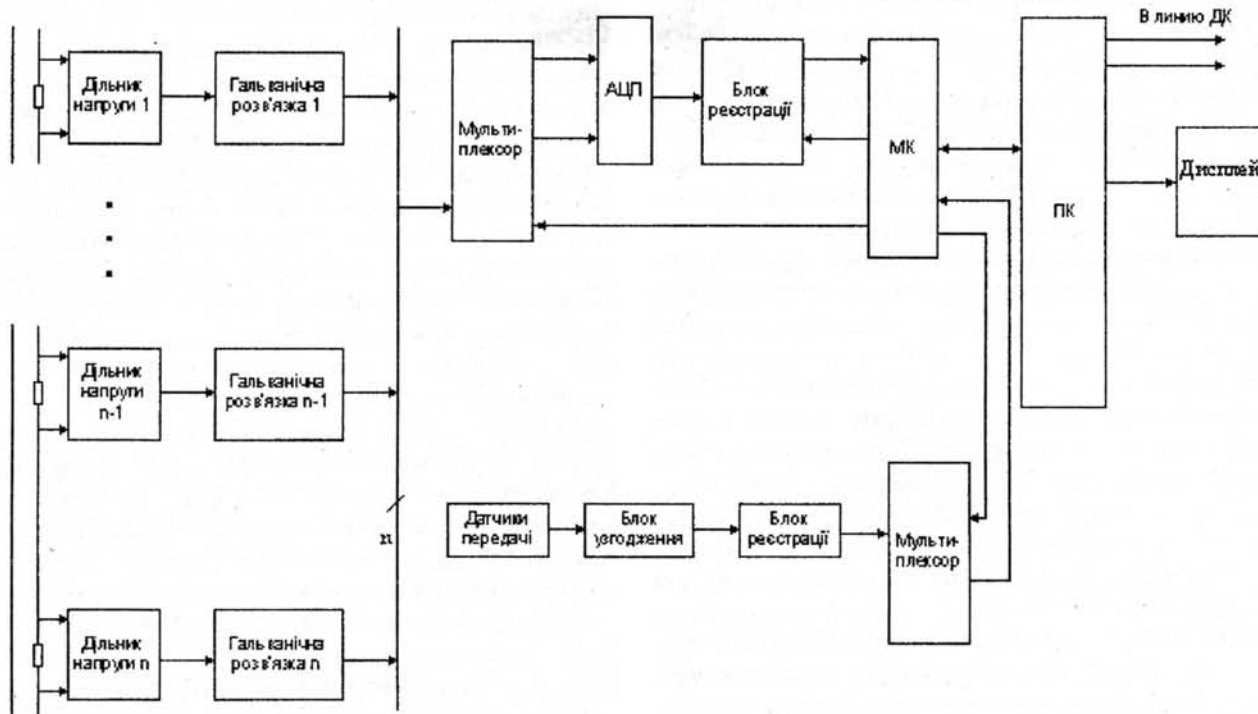


Рис. Підсистема діагностування та контролю стрілочних двигунів постійного струму з послідовним збудженням

В зв'язку з тим що стрілки електричної централізації переводяться з різною періодичністю (від десятки разів на день до декілька разів на тиждень), а контролювати необхідно всі стрілки включені в централізацію, то ПК настраює в мікроконтролері пріоритети зчитування інформації. Для цього в МК настраюються переривання так, що при переводі декількох стрілок контролер записує криву споживання струму від тієї стрілки, яка перевірялась найдавніше.

Якщо діагностика стрілочних електродвигунів є однією з підсистем загальної діагностики ЕЦ станції, і на станції обладнано робоче місце електромеханіка на базі персонального комп'ютера, то функції мікроконтролера виконує процесор ЕОМ. В цьому випадку пристроєм відображення є дисплей, що дає нам ряд переваг.

Висновки. В роботі проведено аналіз технічних перевірок стрілочних електричних приводів, що має обов'язково виконуватися під час періодичного огляду пристроїв залізничної автоматики на станції. На основі проведеного аналізу запропоновано структурну схему автоматизованого пристрою контролю основних параметрів стрілочного електроприводу, що

дозволяє проводити виміри без виключення стрілок з централізації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ЦШЕОТ 0012, Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокуваннях – К.: Укрзалізниця, 1998. – 72 с.
2. Дмитренко И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.
3. Перникис Б. Д. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. / Р. Ш. Ягудин – М.: Транспорт, 1984. – 224 с.
4. Ягудин Р. Ш. Надежность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики – М.: Транспорт, 1989. – 159 с.
5. Резников Ю. М. Электроприводы ж.д. А и Т – М.: Транспорт, 1985.
6. Безрученко В. Н. Электрические машины / 2-е изд., перераб. и доп. А. С. Хотян – К.: Вища шк., 1987. – 215 с.

Надійшла до редколегії 01. 03. 2007.

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТРІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

На основі аналізу результатів проведених вимірювань часових залежностей та спектрального складу струму перевodu стрілок з двигунами постійного струму при справному їх стані, а також при різних дефектах, визначено їх особливості форми кривої та спектру в залежності від технічного стану двигуна.

На основе анализа результатов проведенных измерений временных зависимостей и спектрального состава тока перевода стрелок с двигателями постоянного тока при исправном их состоянии, а также при различных дефектах, определены особенности формы кривой и спектра тока в зависимости от технического состояния двигателя.

On the basis of the analysis of provided measurements results of time dependences and spectral structure of a switch transfer current with direct current machines at their serviceable condition, and also at various defects, the form of a curve and to a spectrum of a current depending on a technical condition of the machines are determined.

Вступ

В попередніх роботах [1] авторами проведено аналіз проблеми, постановку задачі по розробці автоматизованої системи контролю параметрів стрілочних двигунів постійного струму з послідовним збудженням без вилучення їх із експлуатації в системах електричної централізації стрілок та сигналів та визначено основні параметри, що необхідно контролювати відповідно до галузевих вимог.

В основу розробки автоматизованої системи контролю та діагностування стрілочних двигунів положено відомий метод осцилографування струму через двигун під час перевodu стрілки [2–4]. Наявність сучасних мікропроцесорних та комп'ютерних технологій дозволяє формалізувати цей метод та розробити на його основі системи діагностування стрілочних електричних двигунів з послідовним збудженням без виключення стрілок з поїздної і маневрової роботи та при перевірці в ремонтно-технічній ділянці (РТД).

Метою роботи є визначення діагностичних ознак для розробки методики автоматизованого контролю технічного стану електричних двигунів стрілочних приводів на основі проведення вимірювань часових залежностей та спектрального складу струму стрілочних переводів з двигунами постійного струму при справному їх стані, а також при різних дефектах.

Методика вимірювання

Метод вимірювання струму, що протікає через електропривод під час перевodu стрілки описаний авторами у попередній статті [1]. Для визначення діагностичних ознак було взято

справні електричні двигуни після перевірки в РТД СЦБ, а також електричні двигуни з певними дефектами, що були виявлено та ідентифіковано під час експлуатації. Основні типи дефектів було взято такі: обрив секцій обмоток якоря, прогорання ламелей, забруднення колектора двигуна, іскріння на щітках, коротке замикання витків обмотки колектора, «биття підшипника» якоря електродвигуна. Для визначення загальних рис кривої струму через електродвигун з певним типом дефекту вимірювання провели з трьома різними двигунами, що мали однаковий тип дефекту. Струм вимірювали при включенні стрілки на постійну напругу під час перевodu як у плюсове так і мінусове положення. Відповідно до методу, що вдосконалюється авторами, проводили спектральний аналіз зареєстрованого сигналу струму. Спектральний аналіз проводили з використанням спеціалізованих програм, а також безпосередньо розкладаючи сигнал за допомогою швидкого перетворювання Фур'є з використанням програмного пакету MatLab.

Результати

Часова залежність струму стрілочного перевodu із справним електродвигуном при переводі одиночної стрілки з маркою хрестовини 1/11 на залізобетонних шпалах з двигуном МСП-0,25 в мінусове положення наведена на рис 1.

При переводі стрілки в плюсове положення крива струму має протилежну полярність з розбіжністю по амплітудному значенню струму до 10 % для справного двигуна [2].

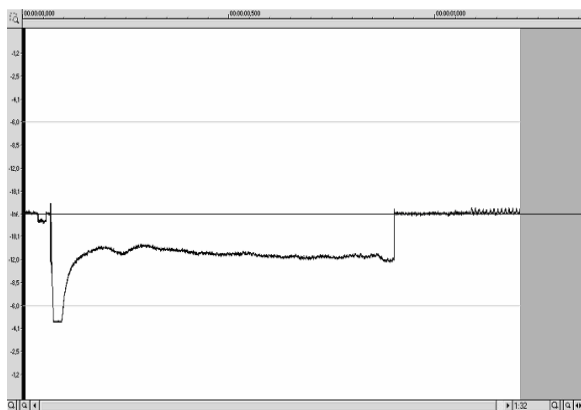


Рис. 1. Часова залежність струму переводу стрілки при справному електродвигуні

При проведенні вимірювань часової залежності струму стрілочного переводу з двигуном типу МСП-0,25, МСП-0,15, МСП-0,1, в РТД дистанції сигналізації та зв'язку необхідно навантажувати їх редуктором стрілочного приводу. Крива струму при перевірці в РТД має деякі відмінності від кривої струму стрілочного переводу, а саме має інший рівень сигналу, а також на кривій на початку не буде імпульсу, що відповідає спрацюванню реле ППР стрілочного блоку (див. рис. 1). Також на кривій струму є пульсації на частоті 50 та 100 Гц, що обумовлені джерелом живлення (випрямлячем) в РТД, в той час як в станційних системах такі пульсації можуть бути або ні в залежності від наявності робочої батареї на посту електричної централізації. При новому будівництві на постах електричної централізації робочі батареї акумуляторів не встановлюються, а живлення іде від основного та резервного трьохфазного випрямляча. Часова залежність струму переводу стрілки, що виміряна на посту централізації з живленням від робочої батареї має значно менші пульсації змінного струму промислової частоти. Пульсації в цьому випадку можуть бути внаслідок того, що для заряду акумуляторної батареї в буферному режимі до неї підключене джерело випрямленого струму.

Криву часової залежності струму переводу стрілки при аналізі можна розбити на три ділянки [4]. На першій ділянці є різкий скачок струму, що обумовлений запуском електродвигуна і приведенням в дію редуктора. Значення пускового струму визначає екстремум кривої на цій ділянці і може перевищувати робочий струм переводу стрілки в три, чотири рази. На другій ділянці струм електроприводу змінюється мало і середнє значення його відповідає робочому струму переведення стрілки. Зміни струму обумовлені механічними процесами в стрілочному переводі в процесі переключення

стрілки. Третя ділянка кривої відповідає перехідним процесам в приводі при зупинці двигуна після виключення напруги.

На рис. 2. приведені спектральні складові струму переводу стрілки.

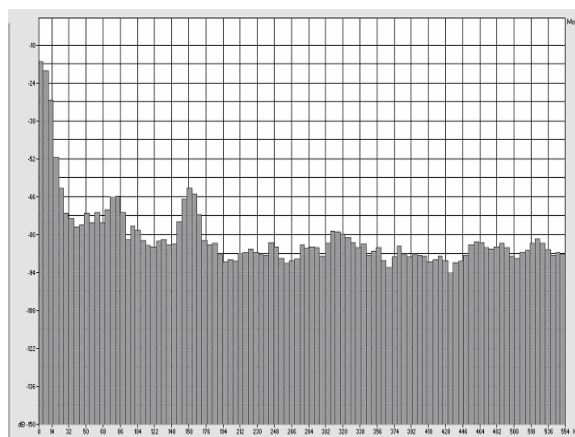


Рис. 2. Спектр сигналу при нормальному переводі

Стрілочний електродвигун з обривом секції обмоток якоря або прогорання ламелей. Часова залежність струму стрілочного переводу при обриві кількох провідників в обмотці колектора електродвигуна при переводі одиночної стрілки з маркою хрестовини 1/11 на залізобетонних шпалах з двигуном МСП-0,25 наведено на рис 3.

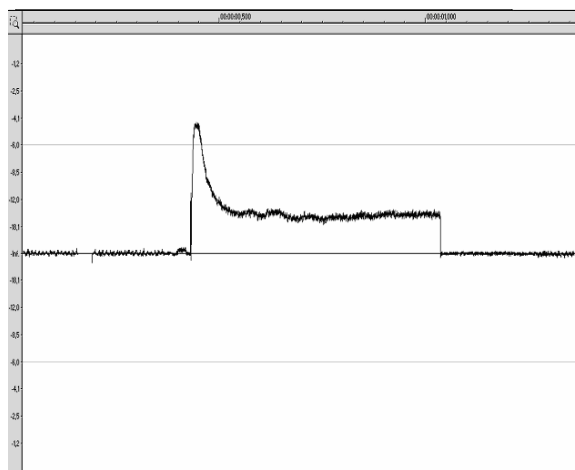


Рис. 3. Часова залежність струму переводу стрілки при обривах в обмотці якоря

Як видно з рисунку в цьому випадку крива споживання струму на другій ділянці матиме гострі «списи», що відповідає виникненню пульсацій напруги при переводі стрілки. Залежно від кількості обірваних секцій варіюватиметься амплітуда піків. Причиною виникнення пульсацій струму на другій ділянці є переривання кола протікання струму при обертанні якоря внаслідок обривів.

Спектральний склад сигналу на частоті 0...550 Гц наведено на рис. 4.

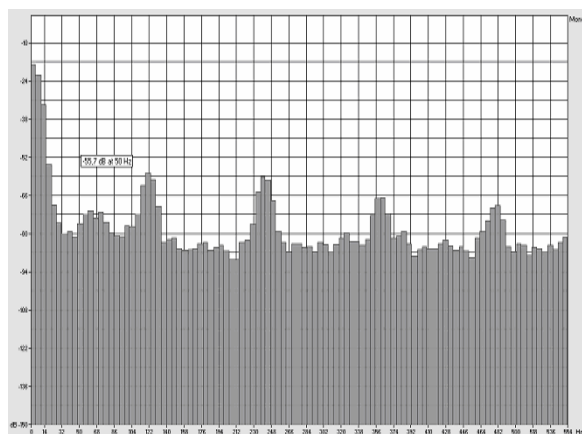


Рис. 4. Спектр сигналу струму переходу стрілки при обрывах в обмотці якоря

Як видно, спектр при нормальному переході (див. рис. 2) не перевищує -75 Дб, за виключенням низьких частот (до 100 Гц), які з'являються при переході стрілки, та стрибка амплітуди на частоті 140...170 Гц, який зумовлений присутністю гармонік від випрямляча. Піки ж на діапазоні 0...550 Гц сягають -70 ... -58 Дб (див. рис. 4). Всплески амплітуди, пов'язані з обривом секцій якоря, спостерігаються на діапазоні до 2 000 Гц включно, але для виявлення даної відмови двигуна достатньо аналізувати вище приведений діапазон.

Стрілочний електродвигун із забрудненням колектора двигуна та іскрінням на щітках. В цьому випадку форма кривої споживання струму на другій ділянці буде аналогічна формі кривої споживання струму при обриві секцій обмоток якоря, але оскільки обрив кола струму не відбувається, а змінюється повний опір якоря R_y (включно з перехідним опором «щітки-колектор»), струм якоря, змінюватиметься у меншій мірі, відповідно і піки мають меншу амплітуду, згідно з формулою [4; 5]

$$I_y = \frac{U - (n \cdot C_e \cdot \Phi)}{R_y + R_b + R_l}, \quad (1)$$

R_y – опір якоря; R_b – опір обмотки збудження; R_l – опір лінійних дротів; n – частота бертанія; Φ – магнітний потік; U – напруга.

При спектральному аналізі, піки амплітуди також будуть спостерігатись на діапазоні 350...2 000 Гц, але амплітуда їх буде меншою.

Стрілочний електродвигун з коротким замиканням в колі колектора. Часова залежність струму стрілочного переходу при короткому замиканні в обмотці колектора електродвигуна при переході одиночної стрілки з дви-

гуном МСП...0,25 наведено на рис. 5. В цьому випадку опір якоря, на відміну від несправності «обрив секцій», зменшується і відповідно до (1) струм споживання двигуна також періодично буде змінюватись при обертанні якоря і форма кривої струму на ділянці 2 є схожою з несправністю «обрив секцій», але має більшу по амплітудному значенню струм (див. рис. 5). У випадку закорочування або обриву багатьох витків, а також при обриві ламелі, зміни опору якоря будуть набагато більшими і, відповідно, піки на кривих будуть мати більшу амплітуду.

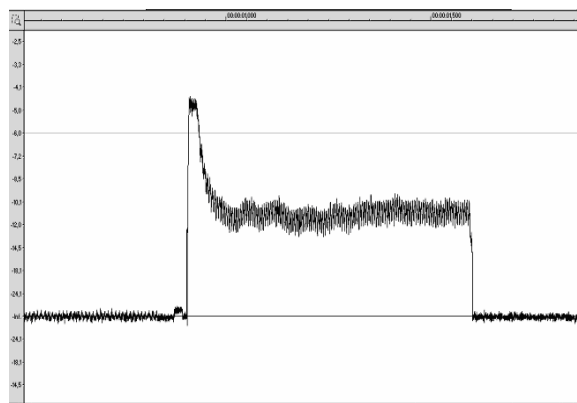


Рис. 5. Часова залежність струму переходу стрілки при короткому замиканні в якорі

Спектральний склад сигналу наведено на рис. 6. Як видно з рисунку сплески стуму, в порівнянні з спектром справного двигуна (рис. 2), мають значно більшу амплітуду. Амплітуда пульсацій на частотах 320...410 сягає -35 ... -32 Дб, що вказує на наявність дефекту двигуна, а саме коротке замикання в обмотці якоря. При обриві у обмотці якоря (див. рис. 4) максимальні пульсації спостерігаються у смузі частот 410...500 Гц, а при короткому замиканні 320...410 Гц (див. рис. 6).

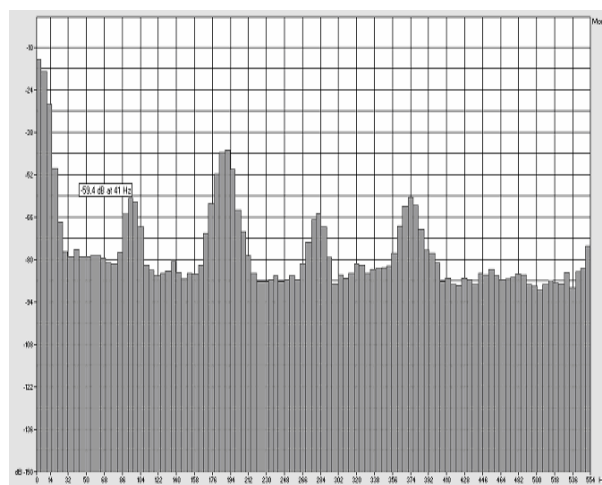


Рис. 6. Спектр сигналу при короткому замиканні в якорі

Стрілочний електродвигун з «биттям підшипника» якоря електродвигуна. При несправному підшипнику в двигуні крива споживання струму матиме форму періодичних «спадів» і «підйомів» і на ділянці 2 крива споживання струму має синусоподібні коливання (див. рис. 7). Це викликано тим, що при несправному підшипнику якор електродвигуна буде при обертанні періодично зміщатись відносно осі обертання, і відповідно, буде підскакувати щітка на колекторі, що викликає періодичну зміну струму електродвигуна. Підскакування щітки також можливе при значному короткому замиканні в якорі. В цьому випадку підскакування щітки викликане появою сильної дуги на колекторі. Але по кривій споживання струму ці дві несправності легко відрізнити, бо у випадку короткого замикання в якорі, струм збільшується в декілька разів і виникають крім синусоїдальних перепадів також піки.

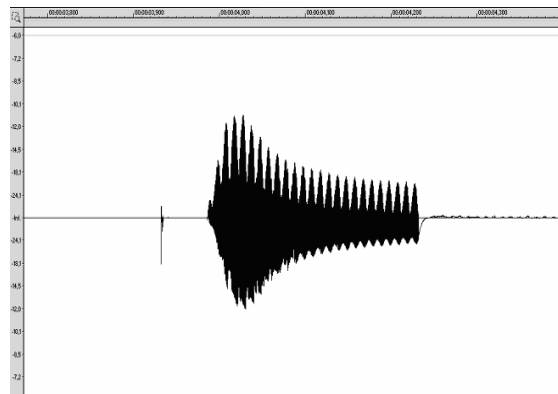


Рис. 7. Часова залежність струму переходу стрілки при несправному підшипнику в електродвигуні

Крива на рис. 7. відрізняється від кривих інших відмов також по методу вимірювання. В зв'язку з тим, що така відмова зустрічається на практиці дуже рідко, провести вимірювання було проблематично [6]. Штучно промоделювати таку відмову також досить складно. Двигун з такою несправністю вдалося записати лише один раз. Запис сигналу струму проводили за допомогою модуляції сигналу високочастотною складовою, що і видно з рис. 7. Спектральний аналіз кривої не проводили, але така несправність легко виявляється по формі кривої споживання струму.

Висновки

На основі аналізу результатів проведених вимірювань часових залежностей та спектрального складу струму стрілочних переводів з двигунами постійного струму при справному їх стані, а також при різних відмовах визначено їх особливості в залежності від технічного стану двигуна. Електродвигуни, в залежності від їх технічного стану мають особливості у формі кривих струму та у амплітуді і частоті пульсацій, значення яких пов'язані з видом дефекту двигуна, що можна взяти як діагностичні ознаки при розробці методики автоматизованого контролю їх технічного стану. Це дозволяє за допомогою аналізу форми та спектру струму двигуном при переводі стрілки виявити дефекти приводу в процесі експлуатації без виключення стрілки з електричної централізації, а також при перевірці в ремонтно-технічній дільниці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Маловічко В. В. Автоматизований контроль основних параметрів стрілочного електроприводу / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 16. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006.
2. Сапожников Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики: Учеб. Для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
3. Ягудин Р. Ш. Надежность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1989. – 159 с.
4. Перникис Б. Д. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ / Б. Д. Перникис, Р. Ш. Ягудин. – М.: Транспорт, 1984. – 224 с.
5. Резников Ю. М. Электроприводы ж.д. а. и т. – М.: Транспорт, 1985.
6. Безрученко В. Н. Электрические машины / 2-е изд., перераб. и доп., В. Н. Безрученко, А. С. Хотян. – К.: Вища шк., 1987. – 215 с.

Надійшла до редколегії 22. 03. 2007.

СИНТЕЗ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ БЛОКА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Розглянуто алгоритм сегментно-слогового синтезу спектрально-часових параметрів моделі блока розпізнавання мови.

Рассмотрен алгоритм сегментно-слогового синтеза спектрально-временных параметров модели блока распознавания речи.

Algorithm of segment-syllabic synthesis of time-spectrum parameters for the model of speech recognition block is introduced.

Построение устройств распознавания речи для современных АСУ состоит из следующих основных задач [1; 5]:

- выбор объектов или типов речевых единиц (фонемы, слоги, слова, морфемы, фразы);
- выбор параметров описания речевых единиц и соответствующих методов интерпретации описаний;
- проектирование программных средств реализации описаний выбранных объектов и распознавания;
- встраивание разработанных проектов и программных реализаций в системные среды.

Структурная схема блока распознавания речи в АСУ, которая позволяет решить вышеперечисленные задачи, представлена на рис. 1.

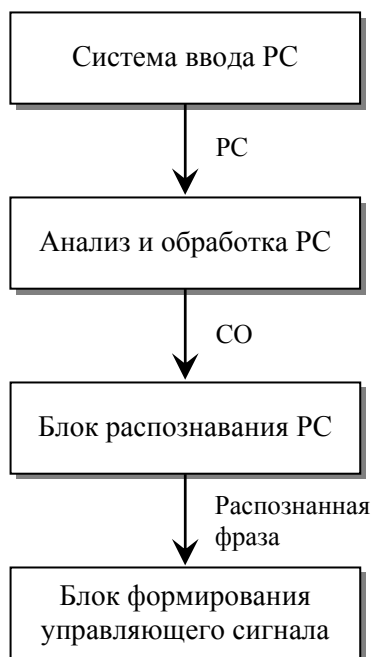


Рис. 1. Структурная схема блока распознавания речи:
РС – речевой сигнал; СО – спектральный образ

Высокий уровень развития вычислительных средств позволяет решать задачи построения систем распознавания речи (СРР), с использованием большого числа параметров и методов, которые ориентированы на детальное изучение структуры речевого сигнала. Однако по прежнему осталась необходимость разрешения противоречивых требований для СРР: обеспечения высокой надежности распознавания для больших словарей объектов, что требует привлечения большого числа параметров (признаков) и, соответственно, большого времени их обработки; выполнение обработки с минимальными временными затратами [1; 2].

Общие схемы анализа и распознавания

Структурная схема блока анализа и обработки РС в существующих системах распознавания содержит следующие дополнительные этапы обработки параметров РС, которые повышают надежность распознавания: блоки выделения полезного сигнала, блоки фильтрации сигнала и его спектра, блоки сегментации РС [1; 4; 5]. На вход блока распознавания поступает сегментированная последовательность параметров РС или спектральный образ (СО). В сегментированной последовательности спектрально-временных параметров (траектории параметров) предъявленного РС сегменты находятся в некоторой зависимости от параметров предшествующих и последующих сегментов, поэтому необходимо рассматривать непрерывные траектории в терминах параметров и в терминах сегментов для решения задачи на этапе распознавания [1; 4]. Блок распознавания РС в зависимости от типов речевых единиц содержит: блоки выбора метрики и критериев сравнения; блоки выбора методов сравнения и стратегии распознавания, обеспечивающую

минимальные затраты времени на поиск наиболее подходящего эталона с максимальной надежностью в заданной системе параметров. Такая конфигурация может быть усовершенствована благодаря введению дополнительного блока аппроксимации траекторий параметров в терминах речевых единиц (РЕ), которая может быть представлена структурной компоновкой крупных речевых единиц (слов, фраз, предложений) из мелких (фонем, слогов) и выбор их наилучшего соответствия некоторой группе сегментов предъявленной реализации на каждом шаге сопоставления. Процесс укрупнения РЕ продолжается до тех пор, пока не будет найдено наилучшее соответствие для всего речевого высказывания по всей совокупности РЕ словаря для всех сегментов речевого высказывания. Наибольшей надежностью обладает пословное распознавание [1; 5]. Для РЕ, поступающих на блок аппроксимации, необходимым условием является следующий факт: РЕ должны иметь такую длину и быть подобраны в таком количестве, чтобы из них можно было бы построить любые другие слова или предложения. Этим требованиям удовлетворяют РЕ слова-слоги, которые содержат два, три символа-фонемы. Задача нахождения наилучшей траектории для предъявленной реализации РС в терминах РЕ обеспечивается перекрытием накладываемых на траекторию параметров РЕ в соответствии с алгоритмом сегментно-слогового синтеза. Процесс перебора РЕ и нахождения наилучшей траектории параметров требует значительных временных затрат. Для решения этой проблемы предлагается введение блока выбора кандидата для распознавания, который использует формализованные эвристики для исследуемой области.

Описание алгоритмов работы блока аппроксимации на основе решения задачи сегментно-слогового синтеза

Задачу сегментно-слогового синтеза (ССС) формулируем согласно [2]. Пусть задан словарь слогов $\{SL_k\}$ ($k=1 \dots N$), для каждого из которых задана эталонная последовательность параметров или траектория параметров $Y_k = (Y_{k1}, Y_{k2}, \dots, Y_{kmk})$, где mk – количество точек траектории параметров для k -го слога. Каждый слог SL_k содержит n_k символов-фонем α_j^k ($k=1 \dots N$, $j=1 \dots n_k$). Каждая траектория параметров Y_k содержит mk элементов, объединяемых в n_k сегментов $SG_j^{Y_k}$ для

соответствующих символов-фонем α_j^k . Пусть задана входная последовательность параметров $X = (x_1, x_2, \dots, x_{\leq r})$, которая сегментирована на p сегментов-фонем SG_l^x ($l=1 \dots p$), объединенных в M групп-слов X_i ($i=1 \dots M$). Необходимо последовательность X наилучшим образом поставить в соответствие эталонным последовательностям параметров $\{Y_k\}$, вычисляя расстояние

$$d = \sum_i \min_k (X_i \# Y_k), \quad (1)$$

где X_i , Y_k содержат сегменты-фонемы SG_l^x , $SG_j^{Y_k}$ соответственно; $\#$ – операция сопоставления осуществляется с помощью динамического программирования. Таким образом, необходимо найти такую эталонную траекторию параметров X^* , для которой достигнута наилучшая близость с траекторией параметров X предъявленного речевого сигнала по всей совокупности слогов, для эталонной траектории параметров результат распознавания строится как синтез соответствующих РЕ. В [3] предложен алгоритм поиска вариантов-комбинаций $\tilde{X}^*$ для эталонной траектории параметров с помощью стратегий поиска в глубину и в ширину $\tilde{X}^* = (Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_R)$, где R – количество слогов траектории параметров $\tilde{X}^*$, соответствует количеству слогов предъявленной реализации.

Предложенный алгоритм синтеза эталонной траектории параметров может быть дополнен новым уровнем обработки траекторий параметров слогов-эталонов, составляющих данную траекторию. Поскольку последовательности спектрально-временных параметров обычно искажены или зашумлены (нестационарный РС приблизительно описывается существующими ортогональными системами функций), то для получения плавно меняющейся функции параметров предлагается построение квадратичной и кубической моделей сплайн-описания траекторий параметров слогов-эталонов для синтеза спектрально-временных параметров на основе функций, которые обеспечивают непрерывную аппроксимацию значений параметров и сглаживание.

Модели сплайн-описания и сплайн-синтеза эталонных траекторий параметров

Задача настройки параметров одной траектории к другой наилучшим образом – задача

минимизации среднеквадратичного приближения модели преобразования с линейными условиями-равенствами, которые обеспечивают требуемую гладкость в точках склейки траекторий параметров слогов-эталонов (полученные эталонные траектории параметров должны быть непрерывны по нулевой и первой производным на всем временном интервале).

Рассмотрим следующую модель сплайн-описания параметров траекторий эталонов Y_k ($k = 1 \dots R$), которые входят в синтезированную траекторию параметров $\tilde{X}^*$:

$$\tilde{X}^* = \begin{cases} \tilde{Y}_{1i}, & N_0 \leq i < N_1, \\ \tilde{Y}_{2i}, & N_1 \leq i < N_2, \\ \dots \\ \tilde{Y}_{ki}, & N_{k-1} \leq i < N_k, \\ \dots \\ \tilde{Y}_{Ri}, & N_{R-1} \leq i < N_R, \end{cases} \quad (2)$$

- квадратичная модель преобразования траекторий эталонов имеет следующий вид

$$\tilde{Y} = a_1 \cdot X^2 + a_2 \cdot X + a_3,$$

где a_1, a_2, a_3 – параметры квадратичной модели преобразования;

- кубическая модель преобразования траекторий эталонов имеет вид

$$\tilde{Y} = a_1 \cdot X^3 + a_2 \cdot X^2 + a_3 \cdot X + a_4,$$

где a_1, a_2, a_3, a_4 – параметры кубической модели преобразования.

Для нахождения неизвестных коэффициентов/параметров моделей решается задача минимизации среднеквадратичного приближения

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^R \left(\sum_{i=N_{k-1}}^{N_k} \left| \tilde{Y}_{ki} - Y_{ki} \right|^2 \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

с линейными условиями-равенствами в точках склейки траекторий параметров слогов-эталонов T_j ($j = k-1, k = 1 \dots R$):

а) равенство значений параметров склеиваемых траекторий

$$\tilde{Y}_k(T_j) = \tilde{Y}_{k+1}(T_j); \quad (4)$$

б) равенство значений производных функций параметров траекторий в точке склейки

$$\tilde{Y}'_{k-1}(T_j) = \tilde{Y}'_k(T_j). \quad (5)$$

Формализация факторов эвристической функции для поиска оптимальных решений сегментно-слогового синтеза

Для нахождения эталонной траектории (ЭТП) параметров необходимо сопоставить все возможные комбинации траекторий параметров (ТП) $\tilde{X}$, составленные из ТП имеющихся в словаре слогов-эталонов, с ТП X , что требует огромных временных затрат. Сокращение рассматриваемых вариантов, а соответственно временной и пространственной сложности, может быть достигнуто благодаря использованию базовых стратегий поиска в глубину и в ширину. Решения, найденные с помощью базовых стратегий, не всегда оптимальны в смысле наилучшей близости, так как при раскрытии узлов в пространстве поиска не используется информация о данной проблемной области [3]. Использование эвристик предполагает: выявление факторов для оценки состояний и степени значимости каждого фактора; определение эвристических оценок для узлов на графе синтеза ЭТП, определяющих перспективность рассматриваемого узла с точки зрения достижения целевого состояния.

Оценочная функция (ОФ) сводится к виду, в котором формализованы наиболее значимые характеристики сегментно-слогового представления состояния: вложенность слогов, наличие групповых признаков сегментов (тон, шум, пауза), величина отклонения слогов предъявленной реализации и эталонной. Таким образом, для каждого узла n на графе синтеза ЭТП определяется ОФ вида

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

где $g(n)$ – стоимость пути к узлу n , а $h(n)$ – оценка достижения целевого состояния из узла n . ОФ может быть представлена также в виде логической связки предикатов или факторов выбора. Для оценки качества поиска с помощью ОФ вычисляется величина целенаправленности поиска (показывает, в какой мере поиск идет в направлении к цели) $P = L/T$, где L – длина найденного пути к цели, T – общее число вершин, раскрытых в процессе поиска.

Экспериментальные исследования

Для проведения исследований была модифицирована система распознавания Speech. Программа работает в реальном времени на компьютере типа IBM PC с процессором Intel Celeron 700 МГц. Основные функции, реали-

зуемые распознающей системой: система акустического ввода и вывода информации (ввод речевого сигнала с микрофона, wav-файлы; воспроизведение РС и визуальное отображение формы РС во временной области; выделение полезного сигнала от шумов окружающей среды; визуальное отображение спектра РС; блоки распознавания: обучение (создание новых словарей эталонов, дополнение существующих словарей); распознавание речевых команд на основе алгоритма ССС; блок принятия решения и оценки решения о распознавании и формирования управляющего сигнала.

Рассмотрим задачу построения эталонной траектории параметров X^* , которые представлены в виде системы энергетических спектров $\{S_{ik}\}$, распределенных по частотным группам, для РС, который поступает на вход системы распознавания, из некоторого множества слогов-эталонов. Для предъявленного РС определены границы сегментов одним из методов сегментации [1]. Множество доступных слогов включает словари $\{E^i\}$ ($i = 2, 3, 4$), которые состоят из двух-, трех- и четырехсегментных слогов (содержат два, три символа-фонемы) для заданного набора слов. Для построения словарей слогов были предварительно проанализированы слова – цифры от нуля до ста. Для предъявленной траектории параметров X необходимо найти такую синтезированную эталонную траекторию параметров X^* , для которой расстояние (1) минимально по всей совокупности слогов. Поиск одного из возможных вариантов-комбинаций для X^* осуществлен на графе синтеза эталонных траекторий параметров с помощью базовых стратегий поиска (поиск в глубину, поиск в ширину) [3] и использованием эвристической функции для выбора очередного кандидата-эталона. Для нахождения оптимального решения для этого варианта-комбинации решена задача настройки параметров траекторий слогов-эталонов относительно параметров соответствующих слогов предъявленной реализации на основе квадратичной и кубической моделей сплайн-описания спектрально-временных траекторий параметров с одним узлом в точке склеивания смежных слогов-эталонов.

Результат синтеза оптимальных траекторий параметров Y_model2 и Y_model3 в одной из частотных полос на основе квадратичной и кубической моделей для слова «адин» из траекторий параметров двух слогов-эталонов «ад» и «ин» представлены на рис. 2, 3.

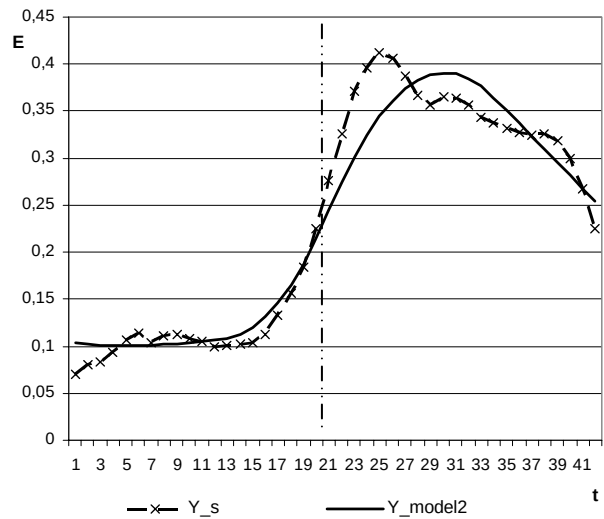


Рис. 2. Эталонная траектория параметров на основе квадратичной модели с одним узлом

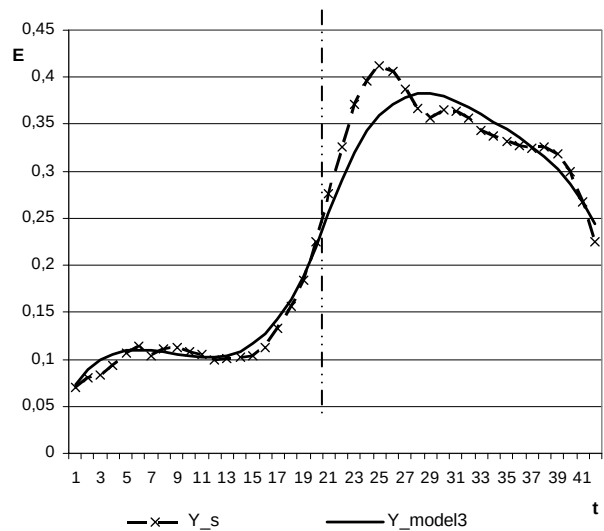


Рис. 3. Эталонная траектория параметров на основе кубической модели с одним узлом

Была исследована модификация алгоритма для блока аппроксимации траекторий параметров, которая заключается в следующем: в качестве узлов для сплайн-описания и сплайн-синтеза рассматриваются точки сегментации каждого слога и точки склеивания смежных слогов-эталонов. Траектории параметров в каждой частотной полосе между границами сегментации имеют простой вид, что позволяет их аппроксимировать полиномами невысокой степени на каждом таком интервале.

На рис. 4, 5 представлены эталонные траектории параметров Y_model2 и Y_model3 , построенные на основе квадратичной и кубической моделей с узлами в точках сегментации и в точках склеивания смежных слогов-эталонов.

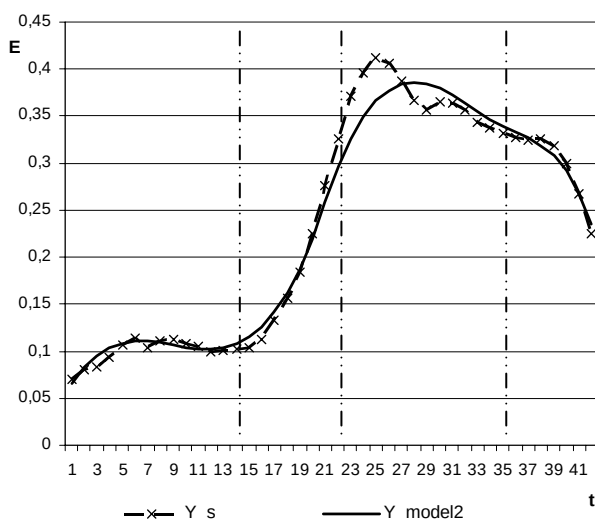


Рис. 4. Эталонная траектория параметров на основе квадратичной модели с узлами в точках сегментации и в точках склеивания

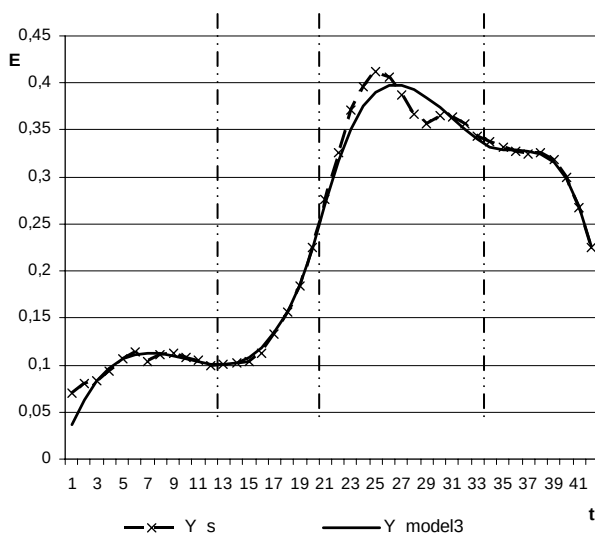


Рис. 5. Эталонная траектория параметров на основе кубической модели с узлами в точках сегментации и в точках склеивания

Анализ экспериментов по распознаванию эталонных траекторий параметров на тестовом наборе речевых образцов показал, что использование модифицированного алгоритма позволяет получить в среднем на 5 % лучшие результаты распознавания, вследствие уменьшения погрешности аппроксимации.

Выводы

Представленный алгоритм для моделирования блока распознавания речи является развитием алгоритма, предложенного в [3], и добавляет новый уровень обработки траекторий параметров слогов-эталонов, позволяющий повысить надежность распознавания. Достоинства предложенных моделей настройки траекторий параметров: модели зависят от малого числа линейных параметров; построение таких моделей основано на применении стандартных быстроедействующих алгоритмов. Применение квадратичной и кубической моделей настройки параметров эталонных траекторий позволило увеличить надежность распознавания на 3 % по сравнению с базовым алгоритмом ССС. Использование эвристической функции выбора кандидата-эталона позволило сократить время распознавания в среднем в 10 раз. Полученные результаты свидетельствуют о том, что добавление блока аппроксимации траекторий параметров в общую схему блока распознавания улучшает характеристики системы распознавания речи в целом.

Дальнейшая работа проводится в направлении исследований модифицированного алгоритма для модели 3-го порядка сплайн-описания и сплайн-синтеза эталонных траекторий параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпов О. Н. Технология построения устройств распознавания речи: Моногр. – Д.: Изд-во Днепропетр. ун-та, 2001. – 184 с.
2. Карпов О. Н. Некоторые эксперименты по повышению надежности распознавания слов заданного словаря / О. Н. Карпов, О. А. Савенкова // Системные технологии. Вып. 6 (35), – Д., 2004, С. 60–66.
3. Карпов О. Н. Распознавание речи на основе сегментно-слогового синтеза в терминах пространства состояний / О. Н. Карпов, О. А. Савенкова // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 532–536.
4. Kopeček I. Speech recognition and syllable segments. // <http://www.fi.muni.cz/~kopecek/>
5. Ronzhin A. L. Survey of Russian Recognition Systems. // R. M. Yusupov, I. V. Li, A. B. Leontieva. In Proc. of Int. Conf. SPECOM'2006, St. Petersburg, 2006, pp. 54–60.

Поступила в редколлегию 29.03.07.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ПРОМПЛОЩАДКАХ

Розроблено тривимірну чисельну модель розрахунку процесу поширення токсичного газу на промплощадці при аварійному викиді. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та моделі течії нестислої рідини. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Разработана трехмерная численная модель расчета процесса распространения токсичного газа на промплощадке при аварийной утечке. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси и на модели невязкой несжимаемой жидкости. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

The 3D numerical model to simulate the toxic gas dispersion on industrial sites after accident ejections was developed. The model is based on the K-gradient transport model and equation of potential flow. The results of numerical experiment are presented.

Введение

В настоящее время большую актуальность приобретает вопрос создания математических моделей прогноза уровня загрязнения атмосферы при аварийных выбросах токсичных веществ (ТВ) на промышленных площадках, позволяющих учесть следующие факторы: различный тип выброса, наличие зданий, метеоусловия [1]. Создание прикладных моделей на базе моделей турбулентности ($k-\varepsilon$ модель, LES модель и т. п.) для решения задач о рассеивании загрязняющих веществ в условиях промплощадки является проблемным в настоящее время, что связано в первую очередь с необходимостью использования мелкой сетки, а это приводит к значительным затратам машинного времени. Нормативная методика, используемая на практике для прогноза уровня загрязнения воздушной среды не учитывает влияние зданий на процесс рассеивания загрязняющих веществ [5]. Целью настоящей работы является создание регуляторной математической модели, ориентированной на использование проектировщиками в повседневной практике. Достоинством предложенной модели является возможность учета основных физических факторов, влияющих на процесс переноса токсичного газа в условиях застройки и при этом небольшие затраты машинного времени при практической реализации модели. Расчет гидродинамики воздушного потока в трехмерной постановке осуществляется в рамках модели невязкой несжимаемой жидкости.

Математическая модель. Для моделирования процесса переноса загрязняющего вещества на промплощадке будем использовать трехмерное уравнение миграции примеси [2–4]

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

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

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

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

где P – потенциал.

Уравнение для определения потенциала имеет вид

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

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работе [3]. Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия:

- на твердых стенках

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

где n – единичный вектор внешней нормали;

- на входной границе (границы втекания воздушного потока в помещение)

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

где V_n – известное значение скорости;

- на выходной границе

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

(условия Дирихле).

Метод решения. Численное интегрирование уравнения (1) осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [3]. Для численного интегрирования уравнения (2) используется идея установления решения по времени, т. е. интегрируется уравнение вида

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2},$$

где τ – фиктивное время.

Численное интегрирование данного уравнения проводится с использованием неявной разностной схемы условной аппроксимации. В разработанном пакете программ осуществляется также численное интегрирование уравнения (2) с помощью метода Либмана.

Практическая реализация. Рассмотрим применение разработанной численной модели и построенного метода для расчета процесса загрязнения воздушной среды на промплощадке при аварийной утечке аммиака (рис. 1).

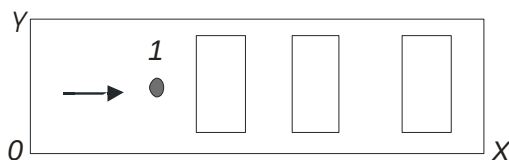


Рис. 1. Схема размещения зданий на промплощадке (план);

1 – место аварийной утечки токсичного газа;

Постановка задачи. На промплощадке в

результате аварии происходит утечка аммиака интенсивностью 300 г/с на временном интервале $[0 \dots 10 \text{ с}]$. Размеры расчетной области $120 \times 120 \times 60 \text{ м}$; скорость ветра 8,5 м/с; коэффициент турбулентной диффузии $2 \text{ м}^2/\text{с}$. Координаты источника выделения токсичного газа $x = 25 \text{ м}$, $y = 45 \text{ м}$, $z = 12,5 \text{ м}$ (из рис. 1 видно, что утечка токсичного газа происходит за первым зданием). В процессе моделирования исследуется интенсивность загрязнения воздушной среды внутри производственного помещения, расположенного во втором здании, на третьем этаже. Токсичный газ попадает через воздухозаборник системы приточной вентиляции (рецептор). Координаты данного рецептора: $x = 65 \text{ м}$, $y = 55 \text{ м}$, $z = 12,5 \text{ м}$ (см. рис. 1). Баланс количества токсичного вещества в помещении описывается следующим уравнением:

$$VdC_{\text{пом}} = LCdt - LC_{\text{пом}}dt,$$

где V – объем помещения; $C_{\text{пом}}$ – концентрация ТВ в выходящем из помещения воздухе; L – воздухообмен; C – концентрация ТВ во втекающем воздухе.

Для решения данного уравнения используется метод Эйлера.

Динамике уровня загрязнения воздушной среды в помещении после аварии выглядит следующим образом:

$t = 6 \text{ с}$	$C = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^3$
$t = 8$	$C = 0,3 \cdot 10^{-4}$
$t = 12$	$C = 0,00014$
$t = 14$	$C = 0,00022$
$t = 16$	$C = 0,00031$
$t = 20$	$C = 0,00046$
$t = 26$	$C = 0,00055$
$t = 30$	$C = 0,00058$

Хорошо видно, что уровень загрязнения воздушной среды в помещении начинает возрастать через 14 с после аварии.

На рис. 2–5 показана динамика формирования зоны загрязнения на промплощадке для различных моментов времени, соответствующих временному интервалу выделения аммиака. Хорошо видно, что формирующаяся зона загрязнения может быть условно разбита на две части. Первая часть – это шлейф, простирающийся над зданиями. Вторая часть – это подзоны, которые образуются между зданиями и создающие опасность токсичного поражения людей, покидающих здания.

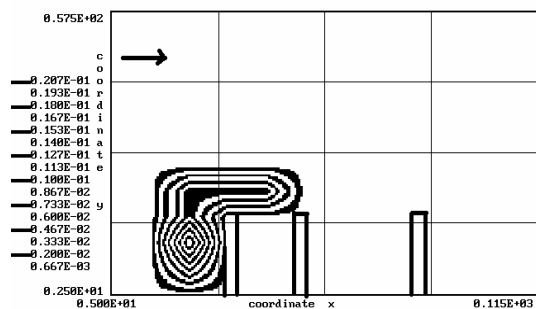


Рис. 2. Зона загрязнения для момента времени $t = 4$ с

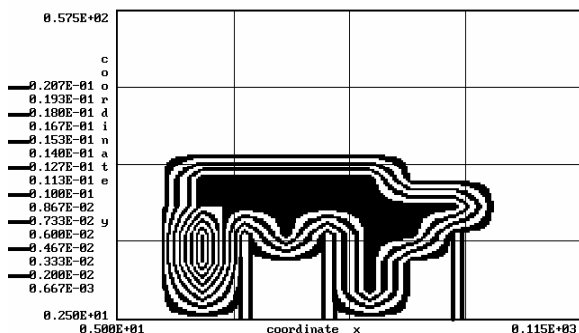


Рис. 3. Зона загрязнения для момента времени $t = 8$ с

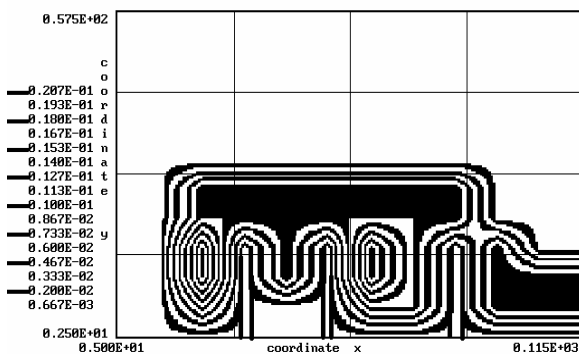


Рис. 4. Зона загрязнения для момента времени $t = 10$ с

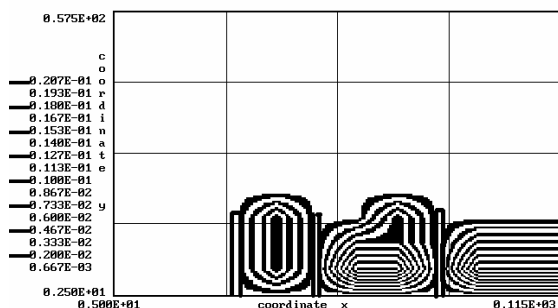


Рис. 5. Зона загрязнения для момента времени $t = 26$ с

На рис. 5 представлена зона загрязнения воздушной среды на промплощадке для момента времени, когда прекратилось выделение токсичного газа. Как видно из рис. 5 воздушная среда возле первого здания (навстренная сторона) уже не содержит токсичное вещество. Тем не менее в плохопроветриваемых местах между зданиями сохранились подзоны, загрязненные аммиаком.

Выводы

В работе разработана трехмерная численная модель, на основе которой построен метод расчета динамики миграции токсичных веществ в случае аварий на промплощадках. На основе разработанной модели создан пакет прикладных программ, реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN. Проведенный вычислительный эксперимент показал эффективность модели для практики (возможность учета в модели основных физических факторов, влияющих на процесс рассеивания, возможность учета различного количества зданий на промплощадке). Дальнейшее совершенствование данного направления необходимо вести по созданию численной модели для Расчета рассеивания тяжелых газов на промплощадках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

Поступила в редколлегию 29.03.2007.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Розглянуто ідею щодо підвищення точності розрахунків, оснований на застосуванні універсальної магнітної характеристики за рахунок варіації значення коефіцієнта насичення.

Рассмотрена идея повышения точности расчетов, основанных на применении универсальной магнитной характеристики за счет вариации значения коэффициента насыщения.

The idea of increase the calculations exactness based on application of universal magnetic characteristic due to value variation of satiation factor is considered.

В тяговом электромашиностроении для расчета характеристик тяговых двигателей постоянного тока широко применяют способ, основанный на использовании так называемой универсальной магнитной характеристики [1–4]. Она представляет собой выраженную в относительных единицах зависимость магнитного потока главных полюсов от магнитодвижущей силы (м. д. с.) их обмоток при некотором фиксированном значении коэффициента насыщения магнитной цепи в номинальном режиме возбуждения.

Универсальная магнитная характеристика построена по результатам обработки внутренних нагрузочных характеристик реальных тяговых двигателей, полученных на основании опытных скоростных характеристик и позволяет определить необходимые для расчета электромеханических характеристик внутренние нагрузочные характеристики двигателя с учетом размагничивающего действия реакции якоря.

Применение универсальной магнитной характеристики основано на использовании того факта, что магнитные характеристики отличающихся по параметрам и конструкции тяговых двигателей в относительных единицах при равных коэффициентах насыщения практически совпадают. При неравенстве коэффициентов насыщения магнитные характеристики не совпадают, но имеют близкое очертание, поэтому в этом случае также можно использовать универсальную магнитную характеристику, только следуют надлежащим способом выбрать на ней точку с координатами F^* и Φ^* , соответствующую действительному значению коэффициента насыщения K_n в номинальном режиме. С этой целью универсальную магнитную характеристику представляют в виде взаи-

мосвязи значений трех параметров: коэффициента насыщения K_n , относительных значений магнитного потока Φ^* и м. д. с. F^* .

В принципе универсальную магнитную характеристику можно построить для любого значения K_n . Ниже будет использована характеристика для $K_n = 2,95$, приведенная в [4] и показанная в виде графиков рис. 1.

Однако в ряде случаев использование универсальной магнитной характеристики приводит к существенным погрешностям в расчетах. Основные причины этого кроются, по нашему мнению, не в неполном совпадении очертания магнитных характеристик, а в недостаточной достоверности информации о численных значениях коэффициента насыщения.

Учитывая преимущества, которые дает универсальная магнитная характеристика при решении целого ряда задач, требующих формализации взаимосвязи электромеханических параметров тяговых двигателей, ниже рассматривается постановка задачи о возможности повышения точности расчетов, основанных на применении универсальной магнитной характеристики, за счет вариации значения коэффициента насыщения.

Сформулируем более подробно эту задачу. Пусть заданы:

– универсальная магнитная характеристика для $K_n = 2,95$ в виде зависимости:

$$\Phi^* = f_1(F^*); \quad (1)$$

$$F^* = f_2(K_n); \quad (2)$$

– м.д.с. и магнитный поток тягового двигателя для номинального режима ($F_{1н}$ и $\Phi_{1н}$ соответственно);

– магнитная характеристика тягового двигателя в абсолютных и относительных единицах:

$$\Phi_1(F_1); \quad \Phi_{10}^{**}(F_1^{**}), \quad (3)$$

где

$$\Phi_{10}^{**} = \frac{\Phi_1}{\Phi_{1н}}; \quad F_1^{**} = \frac{F_1}{F_{1н}}. \quad (4)$$

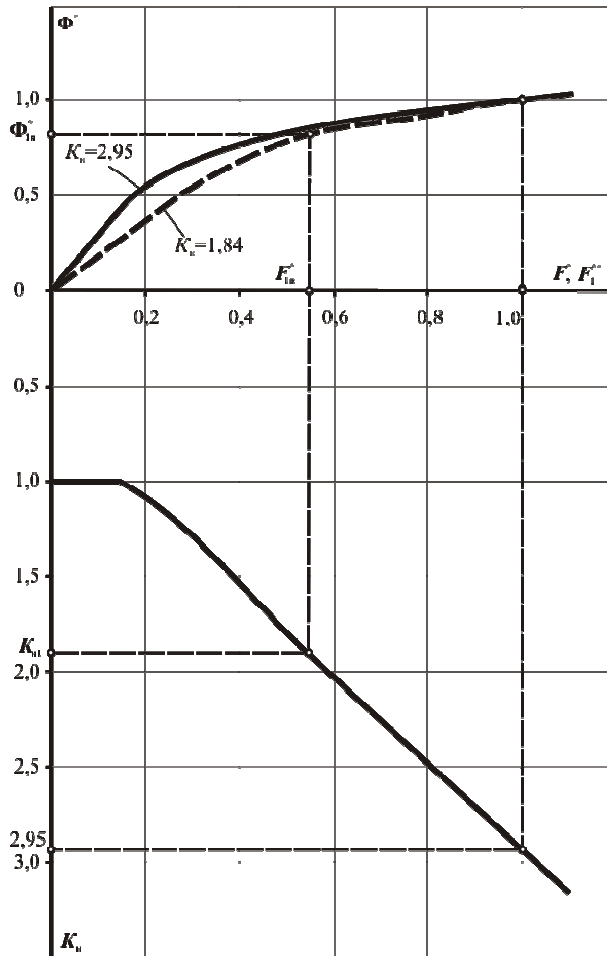


Рис. 1

Требуется установить, какое значение коэффициента насыщения соответствует наилучшему совпадению реальной магнитной характеристики и определенной с помощью универсальной магнитной характеристики.

В качестве критерия наилучшего совпадения сравниваемых кривых примем минимум суммы квадратов отклонений расчетных значений магнитного потока в n выбранных точках. Тогда задача формально сводится к поис-

ку такого $K_i \in [1, \infty]$, которое доставляет минимум суммы

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\Phi_{10i}^{**}(F_{1i}^{**}) - \Phi_{1i}^{**}(F_{1i}^{**}) \right]^2, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где Φ_{1i}^{**} – значение магнитного потока, рассчитанное по универсальной магнитной характеристике.

Рассмотрим возможные пути определения численных значений величины Φ_1^{**} , входящей в выражение (5).

Пусть рассматриваемый тяговый двигатель имеет коэффициент насыщения $K_n \neq 2,95$. Поэтому его магнитная характеристика (5) не совпадает с универсальной магнитной характеристикой. В качестве иллюстрации к сказанному на рис. 1 тонкой линией приведена магнитная характеристика двигателя для $K_n = 1,84$.

Введем в рассмотрение магнитную характеристику двигателя

$$\Phi_1^*(F_1^*), \quad (6)$$

которая имела бы место при $K_n = 2,95$. Очевидно, что такую характеристику можно рассчитать по формулам:

$$F_1^* = \frac{F_1}{F_{1(2,95)}}; \quad \Phi_1^* = \frac{\Phi_1}{\Phi_{1(2,95)}}, \quad (7)$$

где $F_{1(2,95)}$ и $\Phi_{1(2,95)}$ – соответственно м. д. с. и магнитный поток рассматриваемого двигателя при $K_n = 2,95$.

Если принять допущение что характеристика (6) совпадает с универсальной магнитной характеристикой, то по последней можно найти значения величин:

$$F_{1н}^* = \frac{F_{1н}}{F_{1(2,95)}}; \quad \Phi_{1н}^* = \frac{\Phi_{1н}}{\Phi_{1(2,95)}}, \quad (8)$$

где

$$F_{1н}^* = f_2(K_{н1}) \text{ и } \Phi_{1н}^* = f_1(F_{1н}^*), \quad (9)$$

определяются по универсальной магнитной характеристике.

Так как согласно (8) и (9):

$$F_{1(2,95)} = \frac{F_{1н}}{f_2(K_{н1})}; \quad \Phi_{1(2,95)} = \frac{\Phi_{1н}}{f_1[f_2(K_{н1})]}, \quad (10)$$

то из (7) получаем расчетные выражения:

$$F_1^* = \frac{F_1}{F_{1H}} f_2(K_{H1}); \quad \Phi_1^* = \frac{\Phi_1}{\Phi_{1H}} f_1[f_2(K_{H1})], \quad (11)$$

или с учетом (4):

$$F_1^* = F_1^{**} f_2(K_{H1}); \quad \Phi_1^* = \Phi_1^{**} f_1[f_2(K_{H1})]. \quad (12)$$

Поскольку при совпадении характеристик $\Phi^*(F^*)$ и $\Phi_1^*(F_1^*)$ справедливо равенство (9) в виде

$$\Phi_1^* = f_1(F_1^*), \quad (13)$$

то из (12) получим расчетное значение магнитного потока

$$\Phi_1^{**} = \frac{f_1[F_1^{**} f_2(K_{H1})]}{f_1[f_2(K_{H1})]} \quad (14)$$

Полученные выражения позволяют определить сумму (5) и решить поставленную задачу о выборе коэффициента насыщения.

Для определения значений магнитного потока Φ_1^{**} , входящие в (14) функции f_1 и f_2 целесообразно представить аналитическими выражениями. Желательно, чтобы эти выражения помимо приемлемой точности представления аппроксимирующих зависимостей удовлетворяли следующим требованиям (рис. 2):

- функция $\Phi^* = f_1(F^*)$ должна быть нечетной (т. е. $f_1(-F^*) = -f_1(F^*)$) монотонно возрастающей на интервале $[-\infty, +\infty]$;

- функция $F^* = f_2(K_H)$ должна быть такой, чтобы обратная ей функция $K_H = f_2'(F^*)$ была действительной положительной четной функцией ($f_2'(-F^*) = f_2'(F^*)$) на интервале $K_H \in [1, \infty]$.

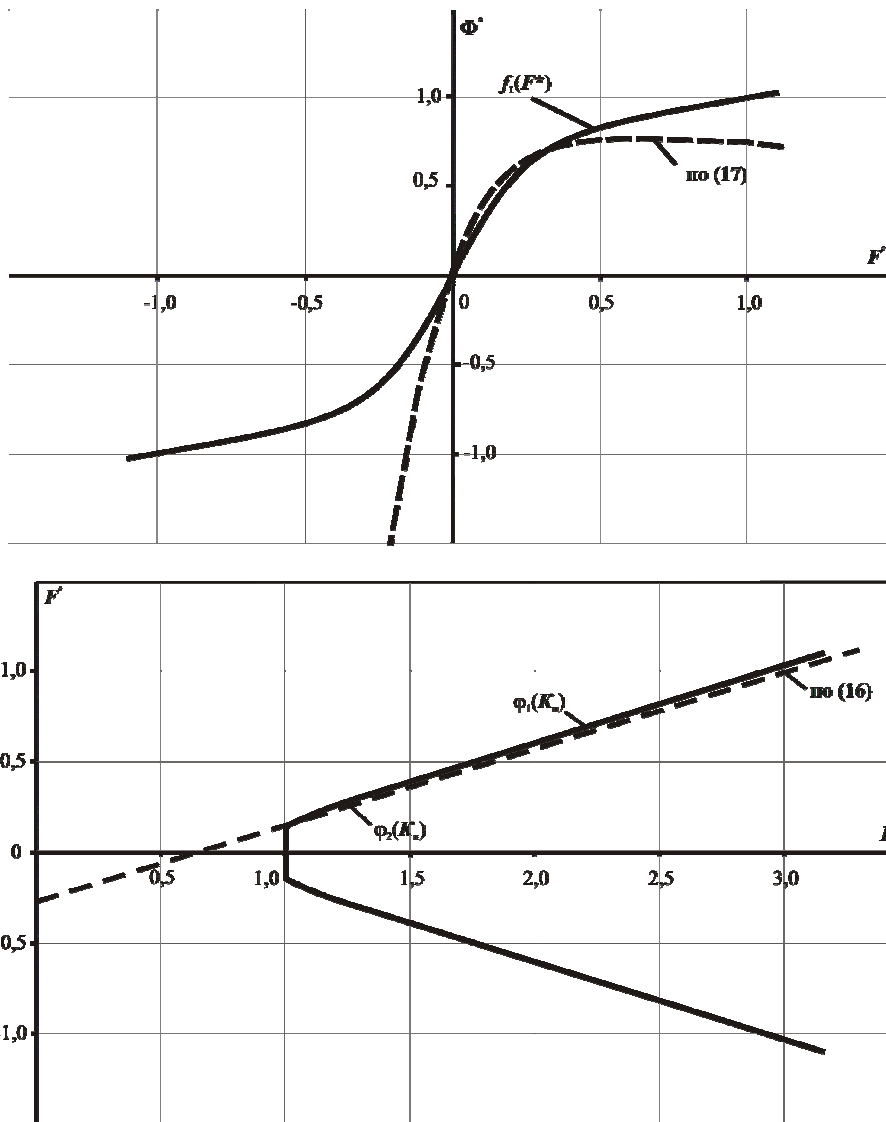


Рис. 2

В [5] универсальная магнитная характеристика представлена двумя аналитическими зависимостями:

$$\begin{aligned}\Phi^*(K_n) = & 0,94 + 0,14717(K_n - 2,5) - \\ & - 0,03417(K_n - 0,25)^2 - \\ & - 0,035(K_n - 2,5)^3 - 0,02333(K_n - 2,5)^4 + \\ & + 0,02533(K_n - 0,25)^5; \quad (15)\end{aligned}$$

$$F^*(K_n) = 0,42K_n - 0,27. \quad (16)$$

Если из (16) получить зависимость $K_n(F^*)$ и подставить ее в (15), то получим формулу для аппроксимации функции $f_1(F^*)$ в виде степенного полинома 5-й степени

$$\Phi^* = \sum_{i=0}^5 a_i F^{*i}. \quad (17)$$

Зависимости $\Phi^*(F^*)$ и $F^*(K_n)$, рассчитанные по (16) и (15) показаны на рис. 2 пунктирными линиями.

Как показал анализ, аппроксимация универсальной магнитной характеристики $\Phi^*(F^*)$ полиномом (17) не дает необходимой точности и не удовлетворяет сформулированным выше требованиям. Выражение (16) достаточно точно отражает зависимость $F^*(K_n)$ в области $K_n > 1$. Остальные требования к функции $f_2(K_n)$ выражение (16) также не удовлетворяет. Сказанное иллюстрирует график $F^*(K_n)$, построенный на рис. 2 (пунктирная линия) по формуле (16).

Анализ вопроса [6] показал, что для аппроксимации функции $f_1(F^*)$ целесообразно использовать зависимость

$$\Phi^* = a \cdot \arctg(bF^*), \quad (18)$$

которая соответствует сформулированным выше требованиям к функции $f_1(F^*)$ и, как показано в [6], при значениях коэффициентов

$$a = 0,722; \quad b = 4,699$$

в области $-2,0 \leq F^* \leq +2,0$ дает среднеквадратическую ошибку, близкую к 0,694 %.

Так как в области малых значений F^* зависимость $F^*(K_n)$ носит выраженный нелинейный характер, то функцию $f_2(K_n)$ достаточно точно можно представить как

$$f_2(K_n) = \begin{cases} \varphi_2(K_n) & \text{при } 1 \leq K_n \leq a; \\ \varphi_1(K_n) & \text{при } K_n > a. \end{cases} \quad (19)$$

Используя единичные асимметричные функции

$$U_-(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0; \\ 1 & \text{при } x \geq 0, \end{cases} \quad (20)$$

и

$$U_+(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0; \\ 1 & \text{при } x > 0, \end{cases} \quad (21)$$

и учитывая, что

$$U_+(a-x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x < a; \\ 0 & \text{при } x \geq a, \end{cases} \quad (22)$$

и

$$U_-(x-b) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \geq b; \\ 0 & \text{при } x < b, \end{cases} \quad (23)$$

для случая $a < b$ получим функцию

$$\begin{aligned}1 - [U_+(a-x) + U_-(x-b)] = \\ = \begin{cases} 1 & \text{при } a \leq x < b; \\ 0 & \text{при } x < a \text{ и } x \geq b, \end{cases} \quad (24)\end{aligned}$$

с помощью которой, положив $a = 1$, искомую зависимость $f_2(K_n)$ можно представить в виде

$$\begin{aligned}F^*(K_n) = & \pm \{ \varphi_2(K_n) \{ 1 - [U_+(1-K_n) + \\ & + U_-(K_n-b)] \} + \varphi_1(K_n) U_-(K_n-b) \}. \quad (25)\end{aligned}$$

Следует отметить, что в большинстве случаев достаточную для практических целей точность расчетов можно получить, представив $F^*(K_n)$ отрезком прямой линии $\varphi_1(K_n)$ определяемое, например, выражением (16). Для этого случая, положив в (25) $b = 1$, получим

$$F^*(K_n) = \pm \varphi_1(K_n) U_-(K_n - 1). \quad (26)$$

Приведенные выше выражения позволяют вычислить все составляющие суммы (5) и решить поставленную задачу о выборе величины коэффициента насыщения для повышения точ-

ности расчета характеристик двигателя по универсальной магнитной характеристике. Результаты указанного исследования будут опубликованы в отдельной статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Находкин М. Д. Универсальная магнитная характеристика тяговых электродвигателей постоянного тока / М. Д. Находкин, В. С. Хвостов // Вестник электропромышленности. – 1958. – №1. – С. 44–48.
2. Находкин М. Д. Проектирование тяговых электрических машин / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, В. И. Бочаров, М. А. Козорезов – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
3. Курбасов А. С. Проектирование тяговых электродвигателей / А. С. Курбасов, В. И. Седов, Л. Н. Сорин – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
4. Бочаров В. И. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины / В. И. Бочаров, Г. В. Василенко, А. Л. Курочка и др. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
5. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
6. Гетьман Г. К. Аналитическое выражение универсальной магнитной характеристики тяговых двигателей постоянного тока / Г. К. Гетьман, А. А. Егоров (См. настоящий выпуск Сборника).

Поступила в редколлегию 30.03.07.

СМЯГЧЕНИЕ РУКОВОДЯЩЕГО УКЛОНА В КРИВЫХ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Розглядається вплив зниження коефіцієнта зчеплення в кривих на величину пом'якшення керівного ухилу.

Рассматривается влияние снижения коэффициента сцепления в кривых на величину смягчения руководящего уклона.

Influencing of decline of coefficient of rolling friction is examined in curves on the size of softening of leading slope.

Как известно, при проектировании продольного профиля необходимо обеспечивать значения уклонов такими, чтобы в сумме с дополнительными сопротивлениями они не превышали руководящего. Это обеспечивает движение поезда с расчетной массой Q на расчетном подъеме i_p со скоростью не ниже расчетно-минимальной. В соответствии с ПТР [1]

$$Q = \frac{F_{кр} - P(w'_o + i_p)}{w''_o + i_p}, \quad (1)$$

где $F_{кр}$ – касательная сила тяги локомотива (кгс) при расчетно-минимальной скорости; P – масса локомотива, т; w'_o, w''_o – основное удельное сопротивление движению (кгс/т), соответственно локомотива и состава, при расчетно-минимальной скорости.

В кривых участках пути руководящий уклон смягчается на величину дополнительного сопротивления от кривых w_R , которое принимается по формуле $w_R = \frac{700}{R}$ при радиусах R 300

метров и более. Для меньших значений радиуса используется формула $w_R = \frac{900}{100 + R}$.

В то же время при движении локомотива в кривых происходит снижение коэффициента сцепления $\psi_{сц}$ до значения $\psi_{сцR}$, которое описывается формулой [2–4]

$$\psi_{сцR} = \psi_{сц} \frac{250 + 1,55}{500 + 1,1R}. \quad (2)$$

В ПТР [1] формула (2) рекомендуется для электрической тяги при радиусах менее 500 м, а для тепловозной тяги при радиусах менее 800 м используется формула

$$\psi_{сцR} = \psi_{сц} \frac{3,5R}{400 + 3R}. \quad (3)$$

Если это снижение не учитывать при смягчении руководящего уклона, то на таких участках скорость поезда с расчетной массой (1) может падать ниже расчетно-минимальной.

На магистральном транспорте эта особенность не учитывается, так как там значения радиусов достаточно большие, а значения уклонов – небольшие. На промышленном транспорте значения руководящего уклона могут достигать 60 ‰, а радиусы могут быть менее 100 м. Это обстоятельство заставляет учитывать снижение коэффициента сцепления при смягчении руководящего уклона на промышленном транспорте. В то же время рекомендации по этому поводу в литературе отсутствуют.

Для возможности учета дополнительного смягчения руководящего уклона $\Delta i_{пс}$ запишем (1) в двух вариантах для прямого и кривого участков и приравняем между собой

$$\frac{1000P \cdot \psi_{сц} - P(w'_o + i_p)}{w''_o + i_p} = \frac{1000P \cdot \psi_{сцR} - P(w'_o + i_p - \Delta i_{сц})}{w''_o + i_p - \Delta i_{сц}}. \quad (4)$$

После некоторых преобразований получим формулу для определения $\Delta i_{сц}$

$$\Delta i_{сц} = \frac{1000(\psi_{сц} - \psi_{сцR})(w''_o + i_p)}{1000\psi_{сц} - w''_o + w''_o}. \quad (5)$$

Значения коэффициента сцепления для разных типов локомотивов и разных условий эксплуатации согласно [1–4] могут определяться по следующим формулам: (в скобках приведены номера типов локомотивов для табл. 1, 2)

- тепловозы ТЭ10 (1)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,118 + \frac{4}{22 + V};$$

- другие магистральные тепловозы (2)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,118 + \frac{5}{27,5 + V};$$

- тепловозы промышленного транспорта (3)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,25 + \frac{8}{100 + 20V};$$

- магистральные электровозы постоянного тока (4)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,25 + \frac{8}{100 + 20V};$$

- промышленные электровозы постоянного тока на постоянных путях (5)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,225 + \frac{7,2}{100 + 20V};$$

- промышленные электровозы постоянного тока на передвижных путях (6)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,01 + \frac{54}{250 + 21V};$$

- магистральные электровозы переменного тока (7)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,28 + \frac{4}{50 + 6V} - 0,0006V;$$

- промышленные электровозы постоянного тока на подъездных путях (8)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,228 + \frac{7}{53 + 3V};$$

- промышленные электровозы переменного тока на постоянных путях карьеров (9)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,21 + \frac{7}{53 + 3V};$$

- промышленные электровозы переменного тока на передвижных путях (10)

$$\psi_{\text{сц}} = 0,01 + \frac{54}{250 + 21V}.$$

Для исследования влияния характеристик локомотива на величину $\Delta i_{\text{сц}}$ значения w'_0 принимались для соответствующих локомотивов и для разных типов пути (магистральный, подъездной, постоянный и передвижной) по [1–4] при различных значениях расчетно-минимальной скорости. В качестве вариантов вагонов рассматривались думпкары и хоппера. Для всех типов локомотивов, пути и вагонов при различных значениях расчетно-минимальной скорости были выполнены расчеты по определению $\Delta i_{\text{сц}}$. Рассматривались значения руководящего уклона 20, 40 и 60 ‰.

В качестве примера в табл. 1 приведены значения $\Delta i_{\text{сц}}$, полученные для различных локомотивов, вагонов в виде думпкаров, радиуса 200 м, руководящего уклона 60 ‰ и различных значений расчетно-минимальной скорости V_p . Индекс «п» у типа локомотива указывает на передвижные пути. В табл. 2 приведены значения при тех же условиях, но радиусе 100 м.

Расчеты показали, что значение $\Delta i_{\text{сц}}$ может достигать 70 % от величины руководящего уклона и неучет этого фактора может приводить к серьезным эксплуатационным проблемам.

Изменения $\Delta i_{\text{сц}}$ для разных типов вагонов оказались незначительными. Также незначительно колебались $\Delta i_{\text{сц}}$ для всех рассматриваемых типов тепловозов и для различных типов электровозов. В то же время отличия $\Delta i_{\text{сц}}$ между тепловозной и электрической тягой оказались значительными.

Таблица 1

V_p	Типы локомотивов														
	1	1п	2	2п	3	3п	4	4п	5	6	7	7п	8	9	10
5					19	19									
10					19	19									
15					19	20			14	15					
20			19	19	19	20			14	15					
25	19	19	19	19	19	20			14	15			14	14	15
30									14	15			15	15	15
45							14	15			14	15			

Таблица 2

V_p	Типы локомотивов														
	1	1п	2	2п	3	3п	4	4п	5	6	7	7п	8	9	10
5					32	32									
10					32	32									
15					32	33			22	22					
20			32	32	32	33			22	22					
25	32	32	32	32	32	33			22	22			22	22	23
30									22	22			22	22	23
45							22	22			22	22			

Наиболее существенно значения $\Delta i_{\text{сц}}$ зависят от радиуса кривой и руководящего уклона. Ориентировочные значения $\Delta i_{\text{сц}}$, полученные в результате расчетов и усредненные по типам локомотивов, вагонов и путей, приведены в табл. 3 и на рисунке.

Для сравнения на рисунке показаны значения w_R . Как видно эквивалентное сопротивление от кривых, используемое традиционно при смягче-

нии руководящего уклона, существенно меньше тех потерь, которые дает уменьшение сцепления в кривых участках пути. При малых значениях руководящего уклона (5–10 ‰) и радиусе кривой 400 метров величина $\Delta i_{\text{сц}}$ составляет при тепловозной тяге около 1 ‰, а при электрической – 0,5 ‰. Последнее свидетельствует о необходимости при малых радиусах дополнительного смягчения руководящего уклона и на магистральных линиях.

Таблица 3

**Потребная величина смягчения руководящего уклона
для учета снижения коэффициента сцепления в кривой**

R, м	Тепловозы			Электровозы		
	Руководящий уклон, ‰					
	60	40	20	60	40	20
400	8	5,5	3	5	3,5	2
300	12,5	8,5	5	9,5	6,5	3,5
200	19,5	13,5	7,5	15	10	5,5
100	32	22,5	12,5	22	15,5	9
60	41	28,5	16	26	18	10

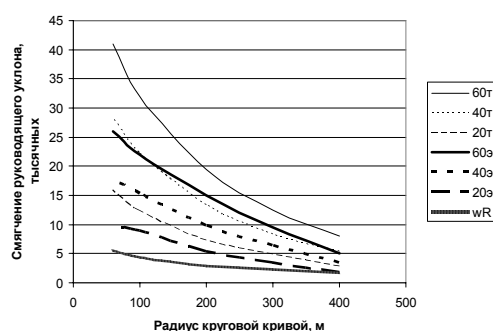


Рис. Зависимость потребной величины смягчения $\Delta i_{\text{до}}$ от радиуса
(индекс т – тепловозная тяга, э – электрическая)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока. 2-е изд., вып. 4322. – М.: Промтрансниипроект, 1977. – 88 с.
3. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов переменного тока. 2-е изд., вып. 4323. – М.: Промтрансниипроект, 1977. – 78 с.
4. Правила тяговых расчетов для тепловозов на промышленном транспорте. 2-е изд., вып. 4324. – М.: Промтрансниипроект, 1977. – 117 с.

Поступила в редколлегию 12.02.2007.

ВПЛИВ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РУХУ ПОЇЗДІВ

Результати аналізу постійних і тривалих попереджень з обмеження швидкості руху поїздів, що діють на Придніпровській залізниці та пов'язані зі станом залізничної колії.

Результаты анализа постоянных и временных предупреждений по ограничению скорости движения поездов, которые действуют на Приднепровской железной дороге и связаны с состоянием железнодорожного пути.

The results of analysis of constant and temporary speed limits of the train movement acting at Pridneprovskaya railway and connected with the railroad track condition.

Вступ

Утворення єдиного європейського ринку, інтеграція України в європейське співтовариство створюють передумови до значного зростання обсягів пасажирських і вантажних перевезень. За цих умов до транспорту пред'являються принципово нові вимоги. Радикальним заходом, що забезпечує внутрішні і міжнародні пасажирські перевезення є створення швидкісної мережі залізничних магістралей з виходом на європейську мережу і країни СНД [1].

На існуючих напрямках міжнародних транспортних коридорів, що проходять територію України, маршрутна швидкість становить 80...90 км/год. Досягти більшої маршрутної швидкості тільки за рахунок перерозподілу поїздопотоків на мережі, вдосконалення графіка руху поїздів, раціонального використання наявних технічних засобів неможливо. Необхідно впроваджувати більш дорогі заходи – реконструкцію залізниці, що включає роботи з перебудови кривих, усунення постійних і тривалих попереджень швидкості руху.

Також слід відмітити, що в Укрзалізниці розроблено Програму приведення колійного господарства сталених магістралей у належний стан, яка передбачає оновлення всього залізничного полотна до 2010 року. Одне з головних

завдань залізничників – ліквідація прострочених термінів з модернізації і капітального ремонту [2].

Постановка задачі

Обмеження швидкості руху поїздів на залізницях – розповсюджені явища. Поява попереджень з обмеження швидкості руху поїздів на тих чи інших ділянках залізниці залежить від багатьох факторів: пропущеного тоннажу, вантажонапруженості, осьових навантажень, поздовжнього профілю тощо. Вплив деяких з перелічених факторів на рівень швидкості, що обмежує рух, розглянуто в роботах [3–5].

Щоб провести статистичний аналіз попереджень, що були закладені до графіків руху поїздів у 2005 і 2006 роках на Придніпровській залізниці були зібрані вихідні дані і виконана їх систематизація. На рис. 1 і 2 показані діаграми розподілу відповідно постійно діючих і тривалих попереджень з різним рівнем допустимої швидкості. Як видно з діаграми (рис. 1), найбільша кількість попереджень (36 %), які обмежують швидкість рівнем 25 км/год, майже одна чверть (23 %) – це попередження, що допускають швидкість руху 40 км/год та одна третина – попередження, що допускають максимальну швидкість руху 60 км/год.

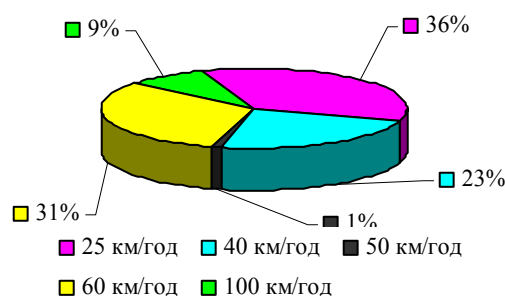


Рис. 1. Допустима швидкість руху (постійні попередження)

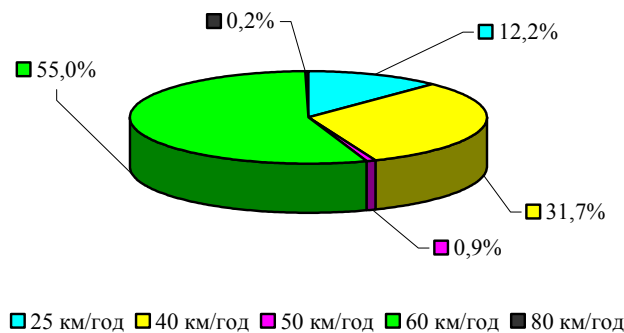


Рис. 2. Допустима швидкість руху (тривалі попередження)

Аналіз розподілів показує, що довжина ділянки, у межах якої діють попередження, коливається 100...6000 м. Якісні картини діючих попереджень наведені в табл. 1–3. З рис. 3 видно, що найбільшу кількість постійних попереджень (51 %) було закладено через шахтні підробітки та 19 % попереджень – за деформацією земляного полотна.

Таблиця 1

Якісний розподіл постійних та тривалих попереджень		
Допустима швидкість руху, км/год	Довжини ділянок з обмеженнями, м	
	постійні	тривалі
25	7 900	14 200
40	5 200	36 900
50	200	1 000
60	6 900	64 000
80	–	200
100	2 000	–

Таблиця 2

Постійні попередження	
Причина обмеження швидкості руху	Довжини ділянок з певними обмеженнями, м
Деформації земляного полотна	5 500
Спливи косогору	800
Ремонтні роботи в тунелях	1 400
Шахтні підробітки	8 300
Всього	16 000

Найбільша кількість тривалих попереджень була зумовлена причинами, що виникли через невиконання ремонтів (прострочені кілометри) з: модернізації колії – 24 %, середнього ремонту – 27 %, а також через непридатність шпал (рис. 4).

Таблиця 3

Тривалі попередження	
Причина обмеження швидкості руху	Довжини ділянок з певними обмеженнями, м
Дефектність елементів штучних споруд	2 700
Дефектність рейко-шпальної решітки	33 600
Попередження через прострочення:	
капітального ремонту	4 200
модернізації колії	18 900
середнього ремонту	19 200
Всього	78 600

З аналізу наведених даних видно, що проблема щодо зменшення кількості і видів обмежень швидкості існує. Для її розв'язання насамперед необхідно дослідити, в якій мірі той чи інший фактор, пов'язаний з обмеженням швидкості руху, впливає на енергетичні й експлуатаційні показники. В роботі розглядалися такі фактори:

- швидкість, що обмежує рух поїздів;
- довжина ділянки обмеження;
- час руху;
- ходова швидкість;
- уклон поздовжнього профілю, на якому знаходиться ділянка обмеження.

З цієї метою було виконано наступні дослідження.

Методика дослідження

Методика дослідження передбачає застосування розробленої на кафедрі «Проектування і будівництво доріг» ДПТУ тягово-експлуатаційної моделі. Така модель дозволяє встановлювати підвищення зовнішньої рейки в кривих і відповідну довжину перехідних кривих, визначати допустиму швидкість руху і виконувати тягові розрахунки, оцінювати комфортабельність їзди і визначати експлуатаційні витрати, пов'язані з рухом поїздів, табл. 4.

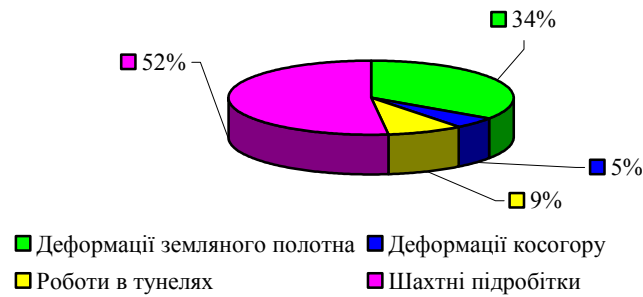


Рис. 3. Постійні попередження

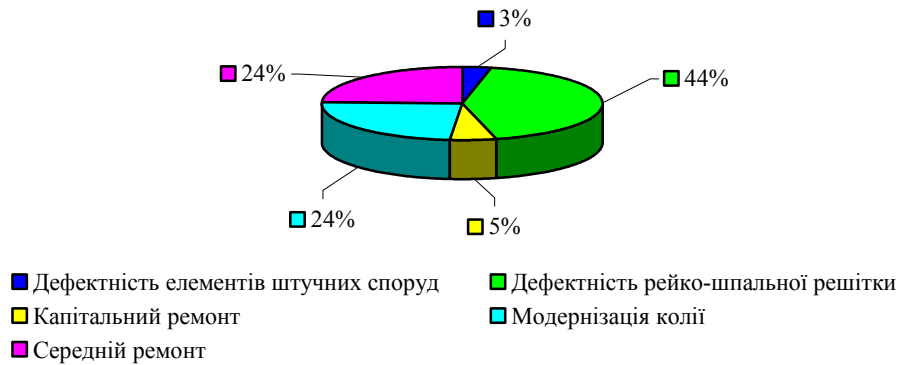


Рис. 4. Тривалі попередження

Таблиця 4

Структурна схема тягово-експлуатаційної моделі

Виконання операцій	Пояснення
Розрахунки підвищення зовнішньої рейки і корегування довжини перехідних кривих	Може бути змінено підвищення зовнішньої рейки відносно існуючого і відкоригована довжина перехідних кривих в залежності від швидкості, яку необхідно забезпечити після реконструкції ділянки залізниці (перехідні криві подовжуються, якщо достатня довжина прямих ділянок колії, що примикають).
Розрахунки допустимої швидкості руху поїзда	Результатами розрахунків є допустимі швидкості руху на кожній кривій з встановленням причин, що обмежують швидкість.
Тягові розрахунки	Виконуються розрахунки з використанням файлів, що включають параметри поздовжнього профілю, плану лінії, характеристики рухомого складу, обмеження швидкості на станціях і інших «бар'єрних» місцях.
Аналіз комфортабельності їзди	Визначається векторна сума горизонтальних, вертикальних і поздовжніх прискорень, що діють на пасажирів у поїзді, і коефіцієнт комфорту пасажирів.
Визначення експлуатаційних витрат	Визначаються витрати пов'язані з рухом вантажного і пасажирського поїзду. При цьому враховуються механічна робота локомотива, робота сил опору, час руху, що визначаються тяговими розрахунками.

Для всіх ділянок, на яких встановлено обмеження швидкості, характерний такий режим руху поїзда. При русі на підйом до обмеження та після його проходження поїзд рухається в режимі тяги, перед обмеженням гальмує та

безпосередньо обмеження проходить в режимі обмеженого використання сили тяги. При русі на спуск поїзд рухається в режимі регульованого гальмування, перед обмеженням гальмує, потім по ділянці обмеження знову рухається в

режимі регулювального гальмування і після її проходження для набирання швидкості поїзд рухається в режимі тяги, а потім знову у режимі регулювального гальмування. Режими руху поїзда залежать від встановленого рівня максимальної швидкості на ділянці, маси поїзда, уклону поздовжнього профілю та ін.

На рис. 5 наведено приклад обмеження швидкості на ділянці суміжних кривих, що розділені

прямою вставкою. Довжина ділянки обмеження швидкості руху (ділянка 2) включає в себе довжину поїзда $L_{п}$, довжини кривих K_1 , K_2 і пряму вставку між ними d . Аналогічний вигляд матиме ділянка з обмеженням швидкості руху при постійних, тривалих чи тимчасових попередженнях. На основі проведеного аналізу для розрахунків були прийняті наступні вихідні дані (табл. 5).

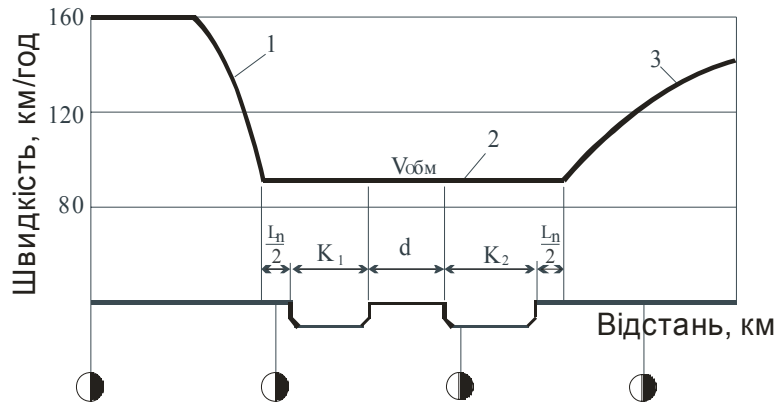


Рис. 5. Приклад обмеження швидкості руху на ділянці суміжних кривих

Таблиця 5

Вихідні дані	Пасажи́рський рух	Ванта́жний рух
Довжина ділянки обмеження, м	100, 500, 1 000, 2 000, 5 000	
Вид тяги	електрична	
Тип локомотиву	ЧС-7	ВЛ-11
Довжина поїзда, м	500	1 000
Середня маса рухомого складу, т	1 000	4 500
Швидкість, що обмежує рух поїздів, км/год	25, 40, 50, 60, 80, 100	25, 40, 50, 60, 80
Максимальна швидкість руху поїздів, км/год	160	90
Уклон профілю, ‰	1...8 ‰ (з кроком 1 ‰)	

Нижче наведені результати, що були отримані з використанням тягово-експлуатаційної моделі.

Було встановлено наступні залежності:

- часу руху від довжини ділянки обмеження та швидкості, що обмежує рух поїздів;
- середнього квадратичного відхилення швидкості руху від довжини ділянки обмеження та швидкості, що обмежує рух поїздів;
- ходової швидкості від довжини ділянки обмеження, уклону профілю і швидкості, що обмежує рух поїздів.

Як показали результати розрахунків, довжина ділянки обмеження впливає на час руху лише до певного значення швидкості, що обмежує рух поїздів. На рис. 6 наведено приклад руху вантажного поїзда на підйом при уклоні профілю 4 ‰. Зі вказаного графіку видно у скільки разів зменшується час руху зі зменшенням швидкості, що обмежує

рух поїздів. Найбільш суттєвий вплив довжини ділянки обмеження на час руху спостерігається при значенні швидкості, що обмежує рух поїздів 25 і 40 км/год, а при швидкості більше за 60 км/год, цей вплив зовсім зникає.

В інших випадках при русі на підйом довжина ділянки обмеження перестає впливати на час руху поїзда при наступному значенні швидкості, що обмежує рух поїздів: уклон 1...6 ‰ – 60 км/год і уклон 7...8 ‰ – 50 км/год.

Що стосується руху на спуск, то залежність у цьому випадку майже не відрізняється від тієї, що наведена на рис. 6: вплив довжини ділянки обмеження на значення часу руху зникає, коли швидкість, що обмежує рух поїздів, дорівнює 80 км/год, причому таке явище характерне для усіх уклонів профілю.

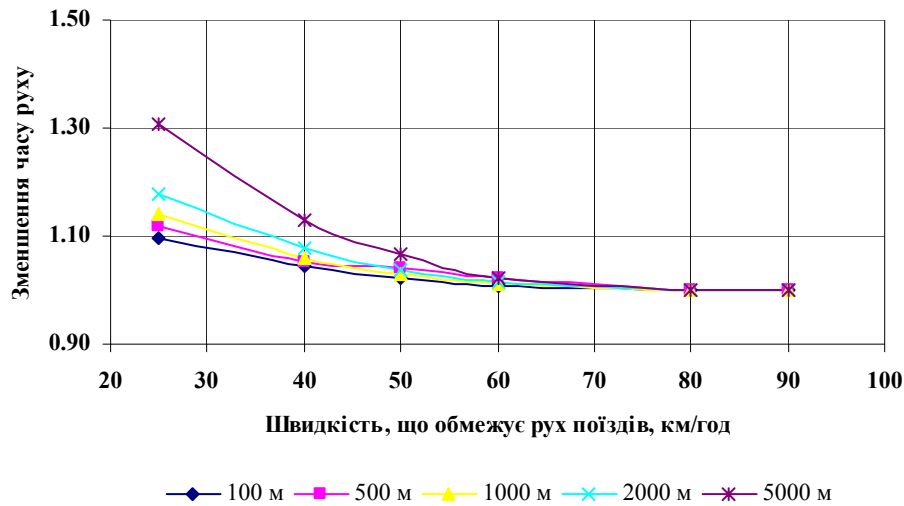


Рис. 6. Залежність зменшення значення часу руху від довжини ділянки обмеження та швидкості, що обмежує рух поїздів (рух на підйом, уклон 4 %, локомотив ВЛ-11)

На рис. 7 наведена залежність часу руху поїзда від швидкості, що обмежує рух поїздів, при русі вантажного поїзда на підйом і на спуск (уклон профілю у даному випадку 8 ‰): зі збільшенням значення швидкості, що обмежує рух

поїздів зменшується час руху за однаковими закономірностями як для руху на підйом, так і для руху на спуск. Вказана залежність описується поліномом другого ступеню (рис. 7) і також є характерною для руху пасажирського поїзду.

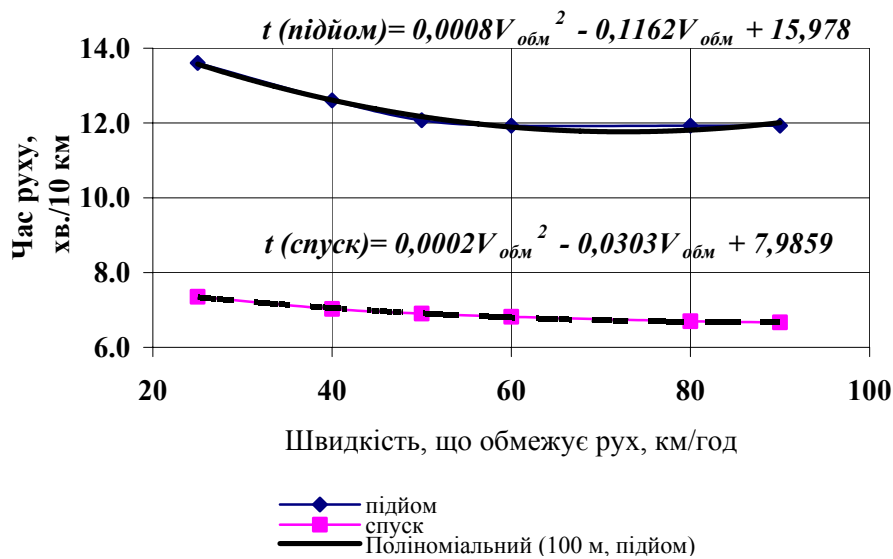


Рис. 7. Залежність часу руху від швидкості, що обмежує рух поїздів (довжина ділянки обмеження 100 м, уклон 8 ‰, локомотив ВЛ-11)

З метою попередньої оцінки плавності руху поїзда були досліджені зміни середнього квадратичного відхилення σ_v швидкості від довжини ділянки обмеження, уклону профілю і швидкості, що обмежує рух поїздів (рис. 8 і 9). Результати розрахунків показали, що значення середнього квадратичного відхилення швидкості зменшується зі збільшенням швидкості, що обмежує рух поїздів (рис. 8) і описується логарифмічним законом. Існує закономірність: чим більше довжи-

на ділянки обмеження, тим більше значення середнього квадратичного відхилення (рис. 9).

Оскільки зростання середнього квадратичного відхилення швидкості σ_v суттєво впливає на комфортабельність їзди пасажирів, то було проаналізовано залежності між середнім квадратичним відхиленням швидкості і довжиною ділянки обмеження, уклоном і швидкістю, що обмежує рух поїздів. Вибіркові результати розрахунків наведені в табл. 6.

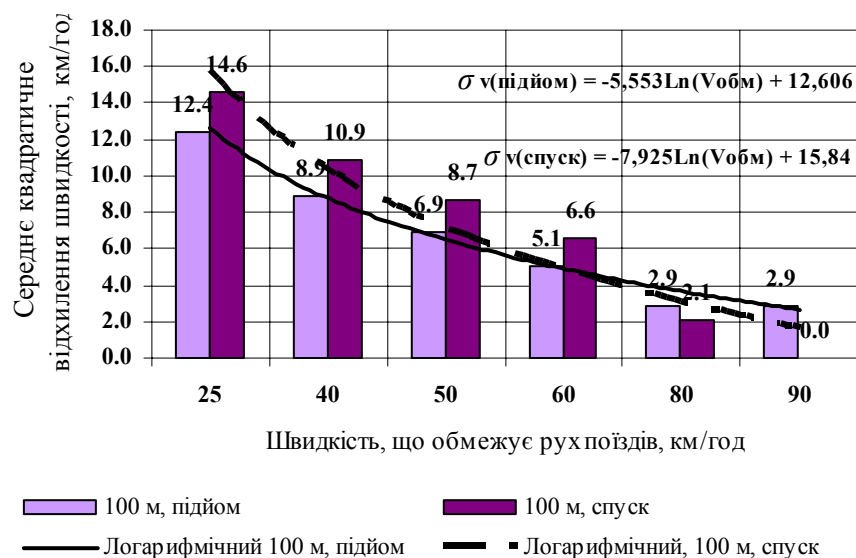


Рис. 8. Залежність середнього квадратичного відхилення швидкості від швидкості, що обмежує рух поїздів (уклон профілю 2 %, локомотив ВЛ-11)

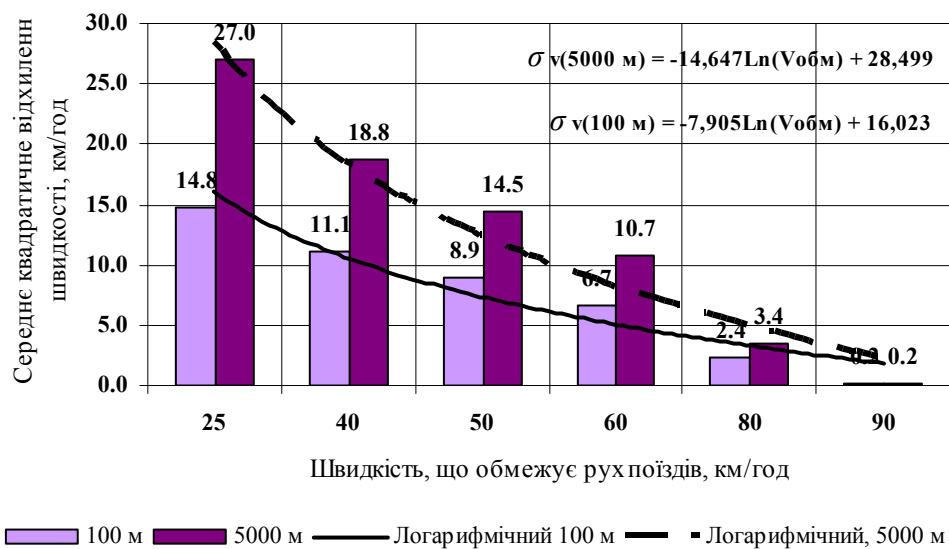


Рис. 9. Залежність середнього квадратичного відхилення швидкості від швидкості, що обмежує рух поїздів та довжини ділянки обмеження (уклон профілю 0 %, локомотив ВЛ-11)

Таблиця 6

Зменшення середнього квадратичного відхилення швидкості (у %) при збільшенні значення швидкості, що обмежує рух поїздів (локомотив ЧС-7)

Уклон, ‰	Підвищення $V_{обм}$, км/год	Довжина ділянки обмеження, м					
		100 м		1 000 м		5 000 м	
		$\sigma_{V'}(\text{підйом})$	$\sigma_{V'}(\text{спуск})$	$\sigma_{V'}(\text{підйом})$	$\sigma_{V'}(\text{спуск})$	$\sigma_{V'}(\text{підйом})$	$\sigma_{V'}(\text{спуск})$
0	від 25 до 40	25	25	29	29	30	30
	від 40 до 50	15	15	15	15	16	16
2	від 25 до 40	28	25	30	27	34	31
	від 40 до 50	16	15	17	15	17	16
4	від 25 до 40	29	26	31	28	35	31
	від 40 до 50	16	15	18	15	20	16

З табл. 6 видно, що зі збільшенням довжини ділянки обмеження зростає значення середнього квадратичного відхилення швидкості. Це ж саме явище спостерігається і зі збільшенням значення уклону профілю, як при русі на підйом, так і при русі на спуск.

У подальших розрахунках наведені дані щодо зменшення часу руху при збільшенні швидкості, що обмежує рух поїздів, для пасажирського та вантажного руху, табл. 7. З аналізу табл. 7 можна зробити висновок, що на горизонтальній площадці і довжині ділянки обмеження 500 м підвищення швидкості, що обмежує рух від 25 до 40 км/год, призводить до скорочення часу руху на 9,5 %. За тих же умов і довжині обмеження 1 000 м це скорочення вже складає 12,6 %, при довжині обме-

ження 5 000 м – 17,9 %. Подібна закономірність спостерігається й при вантажному русі. Слід відмітити, що зменшення часу при пасажирському русі більш суттєве, ніж при вантажному.

Подальші дослідження стосуються механічної роботи локомотива та її взаємозв'язку зі швидкістю, що обмежує рух поїздів. На рис. 10 поліноміальним законом описана залежність між механічною роботою і швидкістю, що обмежує рух поїздів, при русі вантажного поїзда на підйом і на спуск з уклоном поздовжнього профілю 2 ‰ та довжиною ділянки обмеження 100 м. Зі збільшенням швидкості, що обмежує рух поїздів відбувається зменшення механічної роботи локомотива, причому більш суттєве при русі на спуск.

Таблиця 7

Зменшення часу руху (у %) при підвищенні значення швидкості, що обмежує рух поїздів (локомотив ЧС-7)

Уклон, ‰	Підвищення $V_{обм}$, км/год	Довжина ділянки обмеження, м					
		500 м		2 000 м		5 000 м	
		$t_{(підйом)}$	$t_{(спуск)}$	$t_{(підйом)}$	$t_{(спуск)}$	$t_{(підйом)}$	$t_{(спуск)}$
0	від 25 до 40	9,5	9,5	14,8	14,8	17,9	17,9
	від 40 до 50	5,8	5,8	6,8	6,8	7,1	7,1
2	від 25 до 40	9,1	9,3	13,4	14,2	17,7	17,1
	від 40 до 50	5,6	5,7	6,7	6,8	7,1	7,2
4	від 25 до 40	8,3	8,9	12,5	13,6	17,4	18,3
	від 40 до 50	5,4	5,6	6,5	6,6	6,9	7,2
6	від 25 до 40	8,2	8,7	11,3	12,4	17,2	18,5
	від 40 до 50	5,4	5,5	6,5	6,6	6,9	7,4

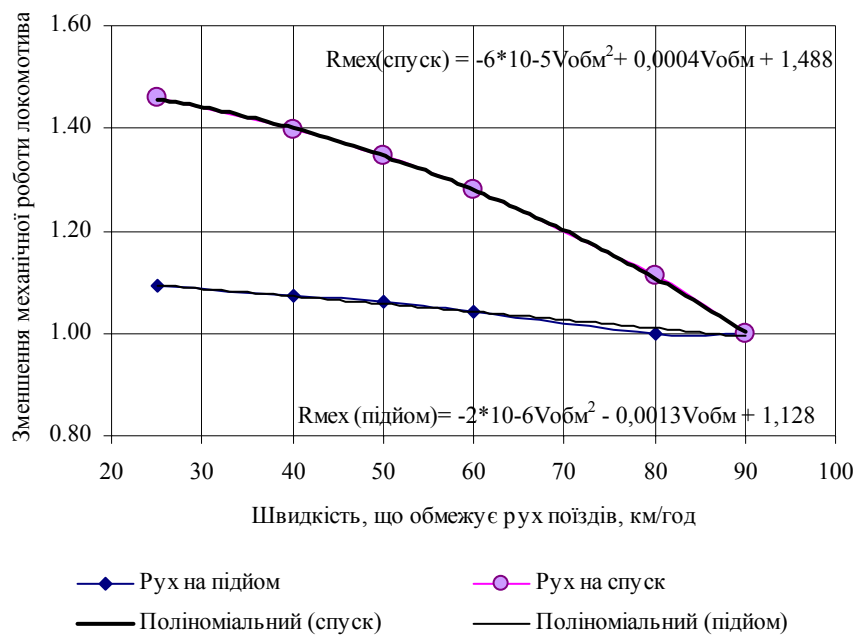


Рис. 10. Зменшення механічної роботи локомотива при підвищенні швидкості, що обмежує рух поїздів (довжина ділянки обмеження 100 м, уклон 2 ‰, локомотив ВЛ-11)

Висновки

За результатами досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Наявність ділянок з обмеженням швидкості руху поїздів викликає суттєве збільшення середнього квадратичного відхилення швидкості, що, в свою чергу, впливає на комфортабельність їзди пасажирів. Так, при уклоні профілю 0 ‰ і довжині ділянки обмеження 100 м з підвищенням швидкості, що обмежує рух, від 25 до 40 км/год, середнє квадратичне відхилення швидкості σ_v зменшується на 25 %, а при довжині обмеження 1 000 м – на 29 %. Також спостерігається вплив уклону профілю. При уклоні 4 ‰ σ_v відповідно складають 29 і 31 % – при русі на підйом та 26 і 28 % – при русі на спуск.

2. На ходову швидкість впливає довжина ділянки обмеження: чим більша довжина ділянки обмеження, тим менша ходова швидкість, і, відповідно, тим більший час руху. На ділянці довжиною 100 м, що розташована на горизонтальній площадці при підвищенні швидкості, що обмежує рух від 25 до 40 км/год ходова швидкість пасажирського поїзда зростає на 1,9 %, а час руху зменшиться на 2,4 %. Якщо довжина ділянки обмеження становитиме 500 м, 1 000 і 5 000 м, то зростання ходової швидкості буде відповідно 2,5; 5,8 та 9,2 %, а час руху зменшиться на 2,5; 6,8; 14,0 %. При уклоні профілю 6 ‰ ходова швидкість зростає: при русі на підйом – на 4,9; 8,3; 12,3 %, а при русі на спуск – на 2,3; 7,2 та 11,2 %. З подальшим підвищенням швидкості, що обмежує рух зростання ходової швидкості буде менш значним.

3. З підвищенням швидкості, що обмежує рух поїздів механічна робота локомотива зменшується і, відповідно, зменшуються витрати електроенергії. Наприклад, якщо розглядати рух вантажного поїзду на спуск при уклоні профілю 2 ‰ і довжині ділянки обмеження 100, 1 000 і 5 000 м, то підвищення швидкості, що обмежує рух від 25 до 40 км/год викликає зме-

ншення механічної роботи локомотиву на 4,4; 4,1 і 4,0 % відповідно, при подальшому підвищенні до 50 км/год відповідно на 3,5; 3,3 і 2,9 %. При русі на підйом для таких самих умов зменшення механічної роботи локомотиву буде менш суттєвим (0,6...1,5 %).

4. Тривалість дії обмеження, безумовно, впливає на енергетичні показники, але в більшій степені впливає рівень швидкості, що обмежує рух поїздів. Зона впливу обмеження тим більша, чим більша довжина ділянки обмеження, менше встановлений рівень швидкості і більше час дії обмеження.

Отримані в роботі дані дають можливість визначити вплив обмеження швидкості руху поїздів на експлуатаційні витрати.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Курган М. Б. Впровадження швидкісного руху поїздів в Україні /М. Б. Курган, І. П. Корженевич // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 2. – С. 45–51;
2. Рагулін П. В. Щоб не фальшивила колійна «мелодія» / Магістраль, № 10 (1188), 14 – 20 лютого 2007 р. – С. 7;
3. Скутин А. И. Определение времени хода поездов с учетом состояния пути // Проектирование технического перевооружения железных дорог с учетом сохранения окружающей среды и применения элементов САПР: Межвузовский сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1989. – С. 50–54.
4. Моисеенко О. Л. Анализ простоев поездов // Проектирование и усиление железных дорог Урала: Межвузовский сб. науч. тр. – Свердловск – 1984. – С. 18–26.
5. Юшаков Л. Ф. К вопросу о влиянии ограниченный скоростей на движение поездов // Проектирование и усиление железных дорог Урала: Межвузовский сб. науч. тр. – Свердловск – 1984. – С. 26–29.

Надійшла до редколегії 16.03.07.

М. Б. КУРГАН, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДПТ),
Б. І. ТОРОПОВ, В. Є. СМЯЛКОВСЬКИЙ (Київдіпротранс)

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ ОГЛЯД КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА КАТЕГОРІЯМИ

Досліджені підходи щодо встановлення класифікації залізниць за різними нормативними документами. Надані пропозиції, що враховують додаткові параметри при встановленні категорії залізниць в сучасних умовах.

Исследованы подходы, касающиеся установления классификации железных дорог за разными нормативными документами. Представлены предложения, которые учитывают дополнительные параметры при установлении категории железных дорог в современных условиях.

The approaches, concerning establishments of classification of railways behind different normative documents are researched. Offers which consider additional parameters at an establishment of a category of railways in modern conditions are presented.

Класифікація залізниць – система понять і показників, що характеризують залізницю за призначенням. Класифікація залізниць повинна встановлювати такі параметри і характеристики, які дозволяли б у залежності від призначення залізниці й обсягів роботи, правильно обирати основні параметри і норми проектування, типи і потужності її пристроїв на досить тривалий термін [1].

Перші спроби класифікації залізниць відносяться до 1870 р., коли в Росії були введені технічні умови проектування і спорудження вузькоколіїних залізниць. У 1892 р. були видані перші положення з проектування під'їзних колій, а в 1899 р. затверджені технічні умови проектування і спорудження залізниць першого значення. У 1922 р. Науково-технічний комітет Народного комісаріату шляхів сполучення (НКПС) розробив класифікацію з розподілом залізниць на чотири категорії за вантажообігом і характером руху з включенням деяких технічних показників, наприклад, керівний ухил. У 1927 р. цей же комітет створив нову класифікацію залізниць з розподілом доріг на 4 класи: магістралі посиленого типу (надмагістралі), магістралі нормальних і полегшених типів, під'їзні колії і вітки. Ознаками, що визначають клас дороги, були вантажообіг і ряд технічних показників (число колій, керівний ухил, максимальна пропускна спроможність).

Подальша розробка класифікації залізниць велася різними організаціями. До 1953 р. у цих класифікаціях виділялися дві категорії залізниць під різними найменуваннями (магістральні і полегшені, магістральні і місцеві, основні і полегшені). З виходом у 1953 році технічних

умов (ТУ) проектування залізниць нормальної колії у класифікації залізниць був встановлений диференційований розподіл залізниць на категорії: в залежності від характеру, розмірів і темпів росту перевезень на перспективу.

У 1960 році в нових нормах і технічних умовах проектування залізниць (СН 129-60) [2] була прийнята важлива ознака класифікації залізниць – значення лінії в загальній мережі залізниць. Ця ознака була збережена і розвинута у затверджених у 1964 р. нормах проектування СНиП II-Д.1-62, за якими залізниці поділялись на чотири категорії [3]. Залізниці вузької колії з цієї класифікації виключені і проектувались за самостійними нормативними документами.

Такий принцип класифікації залізниць зберігся в основному і в нормах проектування СНиП II-39-76, що встановили як основну ознаку загальне значення залізниці, а також розрахункову річну вантажонапруженість нетто у вантажному напрямку на 5-й і 10-й роки експлуатації, розміри руху пасажирських поїздів на 5-й рік експлуатації, максимальні швидкості руху пасажирських поїздів [4]. Вважалось, що залізниці відносяться до однієї з п'яти категорій, якщо виконується хоча б одна з ознак. Крім того діяли окремо норми проектування на внутрішньозаводські колії і залізниці вузької колії (750 мм).

Пізніше, у 1987 році був запропонований проект будівельно-технічних норм (СНиП 2.05.01), у підготовці якого приймали участь і вчені ДПТУ (лабораторія динаміки і міцності рухомого складу, кафедри проектування залізниць, гідравліки та безпеки життєдіяльності) [5]. Але СНиП 2.05.01 не був затверджений.

У 1995 р. в Росії вийшло відразу два нормативних документи: СНиП 32-01-95 [6] і СТН Ц-01-95 [7]. На відміну від другого нормативного документа, у СНиП 32-01-95 у передмові вказані розробники документу, серед яких від України названий ДПТ. У 2004 році в Україні розроблювались відомчі будівельно-технічні норми для залізниць колії 1520 мм (ВНД 32.0.01.000-04). Норми враховували навантаження на вісь чотиривісного вантажного вагона 245 кН (25 тс), погонне навантаженням восьми-вісного вагону 103 кН (10,5 тс) і передбачали рух поїздів із швидкостями: пасажирських – до 200 км/год, вантажних – до 120 км/год, вантажних прискорених і рефрижераторних – до 140 км/год. Залізниці поділялись на шість категорій.

Ознакою такої класифікації були максимальна швидкість і приведена вантажонапруженість, що визначалась на 10-й рік експлуатації з урахуванням кількості та маси пасажирських поїздів. До внутрішніх станційних з'єднувальних колій відносили колії, що ведуть до контейнерних терміналів, вантажних районів, баз, сортувальних платформ, пунктів очистки, промивки та дезинфекції вагонів, пунктів ремонту рухомого складу та виконання інших технологічних операцій. Під'їзні та внутрішньостанційні з'єднувальні колії при максимальній швидкості руху поїздів понад 80 км/год, рекомендувалося проектувати за нормами залізничних ліній III категорії. Аналогічна класифікація була прийнята в Росії (табл. 1).

Таблица 1

Існуючий розподіл залізниць за категоріями

Категорія залізничних ліній	Призначення залізниць	Розрахункова річна приведена вантажонапруженість нетто у вантажному напрямку на 10-й рік експлуатації, млн ткм/км
Швидкісні	Залізничні магістральні лінії для руху пасажирських поїздів із швидкостями, що перевершують 160 до 200 км/год.	—
Особливо вантажонапружені	Залізничні магістральні лінії для великого обсягу вантажних перевезень	Більше 50
I		Більше 30 до 50
II	Залізничні магістральні лінії	Більше 15 до 30
III		Більше 8 до 15
IV	Залізничні лінії Внутрішньостанційні з'єднувальні та під'їзні колії	До 8 Незалежно від вантажонапруженості

За кордоном класифікація залізниць відрізняється великим різновидом прийнятих принципів і ознак, що закладаються в основу. Відповідно до класифікації залізниць США, Японії, Німеччини, Франції, Великобританії, Італії й інших країн залізниці поділяються на 2–3 класи в залежності від інтенсивності руху і швидкості поїздів. Крім того, окремо виділяються надшвидкісні (іменні) магістралі типу Сінкансен, Нью-Токайдо, Париж-Ліон, Рим-Мілан, що спеціалізуються на пасажирських перевезеннях, і вузькоколіїні залізниці. У найбільш розвинутих країнах нова класифікація залізниць практично не розробляється, що можна пояснити сформованим характером мережі й відсутністю перспектив її розвитку в умовах гострої конкуренції з автомобільним транспортом.

В Україні й інших країнах СНД при встановленні класифікації залізниць в основному орієнтуються на наукові розробки і принципи класифікації залізниць, що були прийняті в практиці технічного нормування.

Відповідно до проекту ДБН [9] нові залізничні лінії і під'їзні колії, додаткові головні колії та існуючі лінії, що підлягають посиленню (модернізації, реконструкції), залежно від їх призначення на загальній мережі залізниць, характеру і розмірів перевезень поділяються в частині норм проектування на 8 категорій, рис. 1 (швидкісні лінії виділені в окрему категорію).

Основною ознакою є розрахункова річна приведена вантажонапруженість (нетто у вантажному напрямку) на десятий рік експлуатації, млн ткм/км. Приведена вантажонапруженість визначається за формулою

$$P = B_n + A_6,$$

де B_n – вантажонапруженість нетто у вантажному русі, млн ткм/км; A_6 – брутто пасажирських перевезень (за кількістю і масою), млн ткм/км.

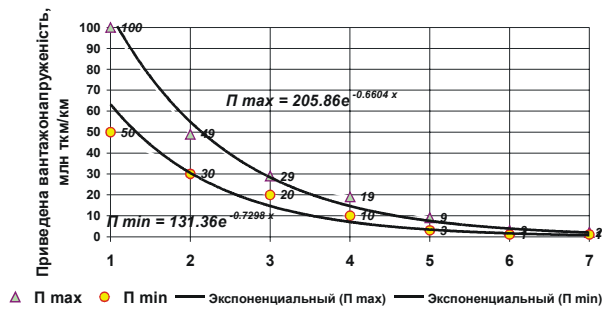


Рис. 1. Зміна приведеної вантажонапруженості (від мінімуму до максимуму) в залежності від категорії залізниці

В графі «Призначення залізниць» (табл. 1 [8]), як додаткові характеристики вказані швидкості руху поїздів різних категорій. На рис. 2 наведені графіки максимально допустимої швидкості руху поїздів (відповідно пасажирських прискорених, пасажирських, вантажних прискорених і вантажних). Швидкості руху прискорених пасажирських поїздів встановлені однаковими для ліній I і II категорій. Швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів теж однакові на лініях I-IV категорій. Такі характеристики як максимальна швидкість не являються у даному випадку додатковими показниками для визначення категорії залізниці.

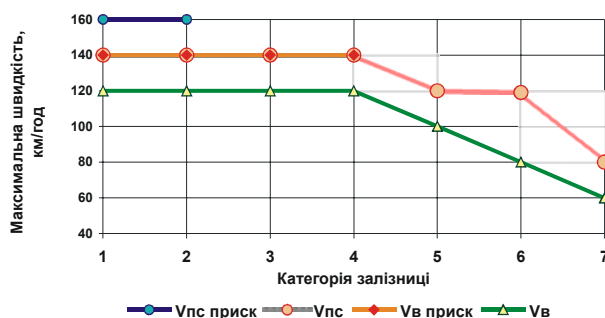


Рис. 2. Зміна максимальної швидкості в залежності від категорії залізниці

Як впливає з проведеного аналізу, в нормах проектування останніх 30 років (СН129-60, СНиП П-Д.1-62, СНиП П-39-76, проект ДБН) за критерій при визначенні категорії залізниці приймалась річна розрахункова вантажонапруженість нетто у вантажному напрямку. Цей показник має ряд недоліків і не може бути єдиним критерієм при виборі потужності залізниці. По-перше, при одній і тій же вантажонапруженості може бути різна потрібна пропускна спроможність, яка залежить від структури вантажопотоку, нерівномірності перевезень тощо. По-друге, зростання вантажонапруженості не є єдиним фактором потреби під-

силення потужності залізниці, так як у перспективі передбачається підвищення маси і швидкості руху поїздів. Збільшення випуску спеціалізованого рухомого складу може привести до збільшення кількості порожніх вагонів. Вантажонапруженість нетто цього не враховує.

З урахуванням вищевикладеного, для визначення категорії залізниці одним з основних критеріїв рекомендується прийняти розміри потрібної пропускної спроможності, розраховуючи її в приведених парах поїздів. Потрібна приведена пропускна спроможність N_{Π} визначається як сумарна кількість всіх поїздів, що знаходиться в обігу, приведена до вантажних поїздів з урахуванням необхідного резерву пропускної спроможності

$$N_{\Pi} = (n_{\text{в}} + n_{\text{пс пр}} \varepsilon_{\text{пс пр}} + n_{\text{пс}} \varepsilon_{\text{пс}} + n_{\text{зб}} \varepsilon_{\text{зб}} + \dots) \frac{1}{\gamma},$$

де $n_{\text{в}}, n_{\text{пс пр}}, n_{\text{пс}}, n_{\text{зб}}$ – потрібні розміри руху відповідно вантажних, пасажирських прискорених, пасажирських, збірних та інших поїздів; $\varepsilon_{\text{пс пр}}, \varepsilon_{\text{пс}}, \varepsilon_{\text{зб}}$ – відповідні їм коефіцієнти знімання; γ – ступінь заповнення пропускної спроможності залізниці (для одноколіїних залізниць 0,80, двоколіїних – 0,85).

На наш погляд недоцільно поділяти залізниці на 8 категорій – достатньо 4-5 категорій. Якщо ж дотримуватись рекомендацій, прийнятих в проекті ДБН [9], то класифікацію слід змінити таким чином, щоб при визначенні категорії залізниці враховувався один з наведених показників: або вантажонапруженість, або пропускна спроможність, або максимальна швидкість руху, табл. 2.

Розрахунки, виконані Київдіпротрансом для залізниць України, показали, що класифікація залізниць, що враховує тільки один показник – приведену вантажонапруженість, дає неповне уявлення щодо норм реконструкції і технічного оснащення залізниць, де впроваджується прискорений рух поїздів при суміщених вантажних і пасажирських перевезеннях. Запропонований авторами підхід надає можливість призначати категорію залізниці за одним з наведених в табл. 2 показників і, таким чином, уникнути недоречностей. При такій класифікації представляється можливим чітко визначати кількість головних колій, основні параметри проектування, розмішувати роздільні пункти тощо.

Розподіл залізниць за категоріями, що пропонується

Категорія залізничних ліній	Призначення ліній	Розрахункова річна приведена вантажонапруженість нетто у вантажному напрямку на десятий рік експлуатації, млн ткм/км	Пропускна спроможність на 10-й рік експлуатації, пар приведених поїздів на добу	Максимальна швидкість руху пасажирських поїздів, км/год
Швидкісні	Залізничні магістральні лінії для руху пасажирських поїздів	незалежно від вантажонапруженості	незалежно від пропускної спроможності	161-200
I	Залізничні магістральні лінії	більше 50	більше 80	160
II	Теж саме	більше 30 до 50 включно	більше 60 до 80 включно	140
III	Теж саме	більше 20 до 30 включно	більше 40 до 60 включно	120
IV	Теж саме	більше 10 до 20 включно	більше 25 до 40 включно	100
V	Залізничні лінії	більше 3 до 10 включно	більше 15 до 25 включно	80
VI	Теж саме	до 3 включно	більше 10 до 15 включно	до 80
VII	Внутрішньостанційні з'єднувальні, та під'їзні колії	до 3 включно	до 10 включно	до 60

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Справочник инженера-путейца. Под ред. В.В. Басилова и М.А. Чернышова. Т.1. – М.: Транспорт, 1972. – 768 с.
2. Нормы и технические условия проектирования железных дорог колеи 1524 мм общей сети Союза ССР. СН 129-60. – М., Трансжелдориздат, 1960. – 128 с.
3. Строительные нормы и правила, ч. II, разд. Д, гл. I. Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования. СНиП II-Д. 1-62. – М., Стройиздат, 1964.
4. Строительные нормы и правила. Железные дороги колеи 1520 мм. СНиП II-39-76. – М.: Стройиздат, 1977. – 72 с.
5. Строительные нормы и правила: Железные дороги колеи 1520 мм. СНиП 2.05.01 (проект).
6. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. СНиП -01-95. – М.: МИНСТРОЙ России, 1995. – 20 с.
7. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. СТН Ц-01-95. – М., 1995. – 86 с.
8. Будівельно-технічні норми. Залізниця колії 1520 мм. ВНД 32.0.01.000-04. Укрзалізниця. – К. – 2004.
9. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізниця колії 1520 мм ДБН В.2.3.-0-2006. – К., 2006 (проект).

Надійшла до редколегії 29.03.07.

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ

Запропонований метод встановлення раціональних швидкостей руху з урахуванням зміни стану об'єктів у часі за допомогою моделювання процесу експлуатації залізничної ділянки як набору об'єктів шляхом використання функцій множини.

Предложен метод установления рациональных скоростей движения с учетом изменения состояния объектов во времени с помощью моделирования процесса эксплуатации железнодорожного участка как набора объектов путем использования функций множества.

The method of an establishment of rational speeds of movement in view of change of a condition of objects in time by means of modeling process of operation of a railway as set of objects by use of functions of set is offered.

Питання усунення постійнодіючих і тривалих обмежень швидкості руху є актуальними для багатьох ділянок Укрзалізниці. В ряді випадках вони можуть бути розглянуті як оптимізаційні задачі. Сформульована таким чином проблема вибору послідовності реконструкції ділянки з метою встановлення максимально допустимих швидкостей руху мала рішення в ряді наукових робіт, наприклад [1, 2]. На сьогоднішній день потребує розв'язання задача у більш широкій постановці – визначення рівня раціональних швидкостей для всіх об'єктів, що складають ділянку, з розгляданням необхідності їх реконструкції і урахуванням зміни стану в часі в процесі експлуатації.

Для вирішення такої задачі ділянку залізничної колії будемо представляти як множену об'єктів $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n\}$. Окремий i -й об'єкт ω_i – це конструкція залізничної колії, рівень швидкості по якій, обмежується одним конкретним фактором, наприклад, стрілочний перевід, ділянка хворого земляного полотна тощо. При такому визначенні об'єкти ω_i можуть бути розташованими як окремо один від іншого, так і накладатися один на інший. Кожен об'єкт ω_i характеризується місцем розташування L_i (пикетажна прив'язка початку та кінця об'єкта), встановленою швидкістю руху $V_{0i} \in [V_{\min i}; V_{\max i}]$, де $V_{\min i}$ і $V_{\max i}$ – відповідно мінімальна і максимальна можливі швидкості руху по об'єкту. Для деяких об'єктів може бути необхідність встановлення обмеження й на мінімальну швидкість, наприклад, при русі в кри-

вих ділянках колії з точки зору не перевищення від'ємного непогашеного прискорення.

При вирішенні задачі встановлення на об'єкті ω_i іншої швидкості руху V_{hi} у деяких випадках можлива ситуація $V_{hi} > V_{\max i}$, але тоді на перебудову об'єкта потрібні капіталовкладення K_i

$$K_i = f(V_{hi} - V_{\max i}). \quad (1)$$

Звичайно, такі зміни стану об'єкта можливі не завжди і, як правило, носять диференційний характер

$$K_i = K_{0i} + \Delta K = f(V_{hi} = V_{\max i} + \Delta V)$$

$$\forall \Delta K < \Delta K_{\min}, \Delta V = 0.$$

Таким чином, на встановлення відповідних швидкостей $V^* = \{V_{h.1}, V_{h.2}, \dots, V_{h.i}, \dots, V_{h.n}\}$ на всіх об'єктах ділянки треба вирішити задачу

$$V^* \rightarrow \begin{cases} \Delta t(V^*) \geq \Delta T \\ K(V^*) \rightarrow \min \end{cases}, \quad (2)$$

де $\Delta t(V^*)$ – зміна часу руху по ділянці при встановленні швидкостей руху V^* ; ΔT – заплановане скорочення часу руху після реконструкції ділянки.

Вирішення схожої задачі розглянуто в [2]. В цій роботі ставилася задача визначення множини об'єктів $\Omega^* \subseteq \Omega$, які потребують перебудови для забезпечення необхідного скорочення часу руху з мінімальними витратами коштів

$$\Omega^* \subseteq \Omega \rightarrow \begin{cases} \Delta t(\Omega^*) \geq \Delta T \\ K(\Omega^*) \rightarrow \min \end{cases} \quad (3)$$

При цьому кожен об'єкт характеризувався двома станами – швидкістю руху до і після можливої перебудови і відповідно вартістю такої операції.

Якщо розглядати подальше утримання ділянки, що розглядається у відповідності до встановлених швидкостей руху, то слід враховувати погіршення стану об'єктів з часом. Звичайно, швидкість зміни стану об'єкта буде залежати від умов експлуатації

$$S_i = f(V_{ni}, \Gamma, \mathcal{Q}_i),$$

де S_i – стан об'єкта ω_i ; Γ – вантажонапруженість на ділянці; $\mathcal{Q}_i$ – час експлуатації об'єкта.

Під станом об'єкта будемо розуміти імовірність безвідмовної роботи цього об'єкта в заданих умовах експлуатації. Звичайно зміна стану об'єкта буде відбуватися по-різному в залежності від умов експлуатації. На рис. 1 показана якісна залежність стану об'єкту від часу експлуатації для різних швидкостей руху при інших однакових умовах.

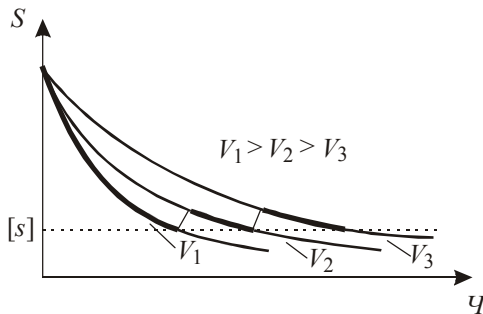


Рис. 1. Зміна стану об'єкта в часі для різних встановлених швидкостей руху

Подальшу експлуатацію об'єкта з прийнятими параметрами будемо вважати можливою, якщо імовірність його роботоспроможності не менше встановленого значення

$$S_i \geq [s].$$

Але стан об'єкта $S_i < [s]$, ще не означає, що об'єкт не можливо експлуатувати. В залежності від виду об'єкта може бути продовжена його подальша експлуатація, але з обмеженням швидкості руху. Характеристика технічного стану об'єкта, що експлуатується з поступовим обмеженням швидкості показана жирною лінією на рис. 1. Прикладом такого об'єкту може бути крива ділянка колії. Її геометричний стан (положення рейок в горизонтальній площині)

може з часом погіршуватися, але, при відповідному обмеженні швидкості, подальша експлуатація буде можлива.

Якщо в задачі, що вирішується, має місце обмеження

$$\Delta t(V^*) \geq \Delta T,$$

то стан об'єкта треба повернути у відповідність до встановленої швидкості. Після часу експлуатації $\mathcal{Q}_i = f(S_i = [s])$ виникає потреба в коштах на ремонт (якщо об'єкт ремонтпридатний) або заміну (якщо об'єкт не відновлюється). Тоді характеристика його експлуатації буде змінюватись так, як показано на рис. 2.

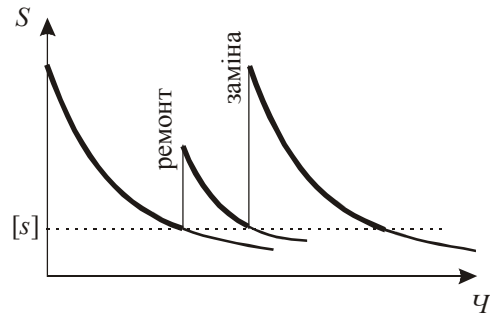


Рис. 2 Зміна стану об'єкта в часі при наявності ремонту і (або) заміни

Таким чином, якщо задача (3) вирішується за умови тривалої експлуатації ділянки залізниці, то формула (1) без урахування щорічних експлуатаційних витрат прийме вигляд

$$K_i(\omega_i) = \begin{cases} 0, V_{ni} \leq V_{0i} \\ K_i(V_{ni} - V_{0i}), V_{ni} > V_{0i} \end{cases} + \begin{cases} 0, S_i(\mathcal{Q}_i) \geq [s] \\ K_i(V_{ni}) \cdot \eta(\mathcal{Q}_i), S_i(\mathcal{Q}_i) < [s] \end{cases}, \quad (4)$$

де η – коефіцієнт дисконтування різночасових витрат.

Графічно задачу (2) можна представити у вигляді, показаному на рис. 3.

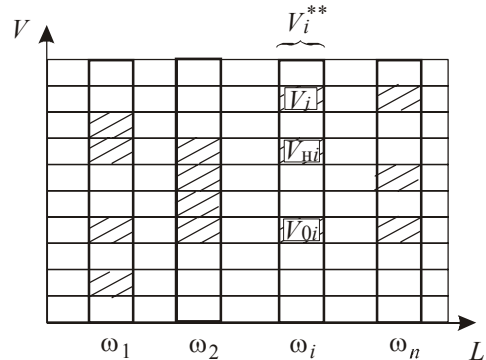


Рис. 3. Множини можливих швидкостей (умов експлуатації) для об'єктів

Кожен об'єкт $\omega_i \in \Omega$, може мати декілька умов експлуатації з різними швидкостями

$$V_i^{**} = \left\{ V_{i,1}, V_{i,2}, \dots, V_{0i}, \dots, V_{ij}, \dots, V_{ni}, \dots, V_{in} \right\}.$$

Кожній умові експлуатації V_{ij} буде відповідати скорочення часу руху відносно вихідної швидкості V_{0i}

$$\Delta t(V_{ij}) = t(V_{0i}) - t(V_{ij})$$

і затрати коштів $K_i(V_{ij})$ (див. формулу (4)) на утримання або перехід і утримання об'єкту до такої умови експлуатації.

Задача ускладнюється тим, що функція $\Delta t(V_{ij})$ може бути визначена тільки за результатами тягових розрахунків і не є адитивною, бо на її значення будуть впливати вибрані стани суміжних об'єктів. Докладно це питання було розглянуто в роботі [2] і запропоновано рішення задачі (3) для неадитивної функції скорочення часу руху з використанням методики оптимізації функцій множини, розробленої проф. А. А. Босовим [3]. Використаємо результати цих досліджень для вирішення задачі (2).

Для кожного об'єкта $\omega_i \in \Omega$ визначимо множину його можливих положень V_i^{**} , упорядковану по зростанню відношення $\frac{K_i(V_{ij})}{\Delta t_i(V_{ij})}$

$$V_i^{**} = \left\{ V_{ij} \in \{V_{ij}\} : \frac{K_i(V_{ij})}{\Delta t_i(V_{ij})} \right\},$$

де $\Delta t_i(V_{ij})$ розраховується як різниця між часом руху, визначеним за тяговими розрахунками для вихідного стану об'єктів Ω , і часом руху, що відповідає новій швидкості, встановленій для об'єкта ω_i

$$\Delta t_i(V_{ij}) = t(\Omega \leftarrow \forall V = V_0) - t(\Omega \leftarrow \forall V \setminus V_{ij} = V_0).$$

Якщо отримати підмножину $V' \subseteq V^*$, яка формується як набір упорядкованих об'єктів

$$V' = \left\{ V_{ij} \in \{V_{ij}\} : \frac{K_i(V_{ij})}{\Delta t_i(V_{ij})} \leq \mu \right\}, \quad (5)$$

де множник μ керує, на якому об'єкті необхідно зупинитися при формуванні множини V' , і визначається з нерівності

$$\sum_{V_{ij} \in V'(\mu)} \Delta t(V_{ij}) \geq \Delta T, \quad (6)$$

то отриманий набір швидкостей V' буде відповідати нерівності (6) і умові

$$\sum_{V_{ij} \in V'(\mu)} K(V_{ij}) = \min$$

серед всіх інших можливих варіантів [3].

Однак, специфіка задачі накладає на формування множини V' ряд певних обмежень. По-перше, швидкість повинна бути встановлена для кожного з об'єктів залізничної ділянки $\omega_i \in \Omega$, по-друге, для кожного з об'єктів може бути встановлено тільки одне значення швидкості

$$\exists V_{ij} \in V_i^{**}, V_{ij} \in V', V_i^{**} \setminus V_{ij} \notin V'. \quad (7)$$

Якщо сформулювати множину швидкостей, що треба встановити для об'єктів ділянки, з перших елементів можливих варіантів V_i^{**} кожного об'єкта, то умова (6) буде виконана, а отриманий стан ділянки буде відповідати мінімальним витратам

$$V^*(K = \min) = \left\{ V_{i1} \in V_i^{**}, \frac{\Delta t(V_{i1})}{K(V_{i1})} = \min \right\}.$$

Рішення задачі (2), відповідно до [1] повинно відповідати умові (5) та, враховуючи специфіку задачі, відповідати умові (7). Таким чином остаточне рішення задачі (2) може бути представлено у наступному вигляді

$$V^* = \left\{ V_{ij} \in \{V_{ij}\} : \frac{\Delta t(V_{ij})}{K(V_{ij})} - \frac{\Delta t(V_{i1})}{K(V_{i1})} \leq \mu \right\}$$

$$\sum_{V_{ij} \in V'(\mu)} \Delta t(V_{ij}) \geq \Delta T$$

$$\exists V_{ij} \in V_i^{**}, V_{ij} \in V^*$$

$$V_i^{**} \setminus V_{ij} \notin V^*,$$

$$V_i^{**} = \left\{ V_{ij} \in \{V_{ij}\} : \frac{\Delta t(V_{ij})}{K(V_{ij})} \right\}.$$

Множина V^* буде складатися зі швидкостей по кожному об'єкту ділянки і такий набір буде відповідати умові (2). Взагалі можна отримати всі можливі варіанти множини V^* , кожен з яких буде відповідати різному значенню часу руху по ділянці, але буде оптимальним з точки

зору співвідношення часу руху і витрат на реконструкцію та подальше утримання. Таким чином, результат розрахунків можна представити у вигляді графіку залежності часу руху (або його скорочення відносно існуючого стану) від витрат, на якому точки будуть відповідати наборам швидкостей, які треба встановити на ділянці, рис. 4.

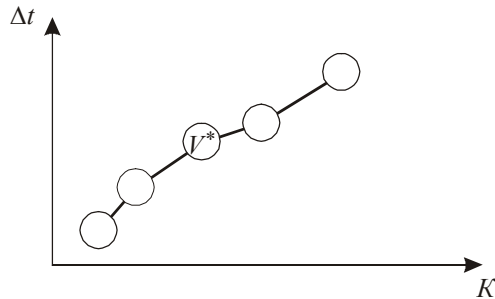


Рис. 4. Співвідношення Δt і K для можливих варіантів рішень V^*

Графік буде мати $\sum_{i=1}^n (m_i - 1)$ точок, де n – кількість об'єктів на ділянці; m_i – кількість можливих рівнів швидкості для i -го об'єкту. Загальна кількість можливих варіантів стану такої системи $\prod_{i=1}^n m_i$.

Запропонована методика дає змогу визначити рівні швидкостей, які можуть бути встановлені на об'єктах ділянки, що розглядається, такими, що будуть раціональними з точки зору накладених умов. Причому результат можна отримати у вигляді послідовності рішень і мати змогу вибору між варіантами з близькими характеристиками або керуючись менш важливими і неврахованими обмеженнями. Крім того, запропонована модель експлуатації залізничної ділянки може бути інструментом для розв'язання інших питань, що пов'язані з вирішенням оптимізаційних задач з урахуванням зміни стану у часі та відказу залізничних об'єктів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Игнатов Ж. А. Влияние распределения локальных ограничений на повышение скоростей движения пассажирских поездов / Ж. А. Игнатов, М. И. Карпов, А. А. Матвиенко // Меж. сб. науч. тр. – Д. 1989. – С. 63–66.
2. Курган М. Б. Розробка метода оптимальної перебудови ділянки залізниці для організації швидкісного руху поїздів // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2003. – Вип. 1. – С. 66–73.
3. 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 30.03.07.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБОРОВ ПРЕДИКТОРНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ПО ОРИЕНТИРОВАННОМУ ГРАФУ ЛОКАЛЬНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

На підставі орієнтованого графа локальних взаємодій запропоновані алгоритми побудови наборів предикторних змінних.

На основании ориентированного графа локальных взаимосвязей предложены алгоритмы построения наборов предикторных переменных.

On the basis of focused the column of local interrelations algorithms of construction of sets the predictor variables are offered.

В классических исследованиях по математическому моделированию физических, химических и других процессов, как правило, на основании опытных данных предполагались некоторые допущения о протекании таких процессов в «малом» (т. е., малость понималась то ли пространственная, то ли временная, то ли обе одновременно).

Такой подход позволял математическую модель представить в виде дифференциального уравнения или системы уравнений, решение которых давало возможность проследить протекание процесса как во времени, так и в пространстве.

Не умаляя достоинства данного подхода, необходимо отметить, что причинно-следственные связи не находили достаточного отражения. Особенно это касается управляемых процессов, так как выбор управляющих переменных в основном определяется постановщиком задачи.

Так как процесс электролитического покрытия представляет собой макроскопическую систему, не находящуюся в состоянии полного термодинамического равновесия, подвергающуюся внешним воздействиям и эволюционирующую во времени, то в общем случае макроскопическими величинами (температура, давление, плотность и т. д.) нельзя пользоваться для описания неравновесных систем.

Если макроскопическая система находится в состоянии равновесия, то к ней или к ее макроскопическим частям применимы термодинамические понятия. Тогда, разбив макроскопическую систему на малые, но макроскопические элементы и считая, что эти элементы находятся в состоянии локального равновесия, можно отвлечься от молекулярной структуры системы и

считать ее сплошной средой, т. е. в каждой точке раствора задаются такие термодинамические показатели, как плотность (концентрация) компонент их средние скорости и т. д.

Другими словами считаем, что между термодинамическими показателями существуют определенные причинно-следственные связи.

Пусть тот или иной процесс в любой момент времени характеризуется набором показателей $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Определение 1. Будем говорить, что x_i является причиной изменения x_j в малом, если изменение x_i на отрезке времени $[t, t + \tau]$ приводит на этом же отрезке времени к изменению x_j .

В данном определении величина τ – характеристическое время распространения возмущений (флуктуаций) и определяется макро- (микро-) уровнем рассматриваемого процесса [1].

Определение 2. Ориентированный граф $G(V, E)$ [2] будем называть математической моделью локальных взаимосвязей, если имеет место:

1. Множество вершин V графа $G(V, E)$ совпадает с множеством Ω .

2. Множество вершин E – набор направленных дуг, отражающих причинно-следственные связи в малом.

Заметим, что в E могут входить дуга из x_i в x_j и ей противоположная из x_j в x_i .

В общем случае множество вершин V можно разложить на непересекающиеся множества: VI – множество истоков, VS – множество стоков и $\tilde{V} = V \setminus (VI \cup VS)$.

Определение 3. Множество $M \subset \Omega$ будем

называть набором предикторных переменных если имеет место:

C1. $M \subset \Omega$.

C2. $\forall x, y \in M$ нет дуг между ними.

C3. M – максимальный набор.

Под максимальнойностью множества M понимается ситуация, когда это множество не может быть пополнено элементами из $\tilde{V}$ без нарушения свойства C2.

Пример. Пусть $\Omega = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$, а граф $G(V, E)$ имеет следующие ребра (дуги) $E = \{e_{13}, e_{23}, e_{35}, e_{43}, e_{56}, e_{65}, e_{57}, e_{67}, e_{63}\}$, где под дугой e_{ij} понимается дуга, начинающаяся в x_i и оканчивающаяся в x_j . На рис. 1 представлен данный граф.

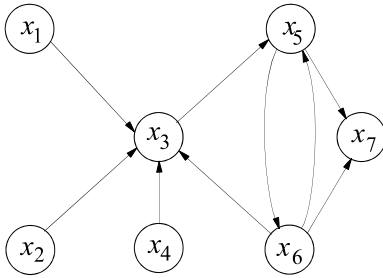


Рис. 1. Графическое представление $G(V, E)$

В этом примере множество источников представляет собой $VI = (x_1, x_2, x_4)$, а множество стоков равно $VS = \{x_7\}$. Необходимо отметить, что множество истоков отражает влияние внешней среды на рассматриваемый процесс (явление), а множество стоков отражает влияние исследуемого процесса на внешнюю среду.

Для данного примера множества предикторных переменных представляют собой

$$\begin{aligned} M_1 &= \{x_1, x_2, x_4, x_5\} \\ M_2 &= \{x_1, x_2, x_4, x_6\} \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда структуры математических моделей будут следующими:

$$\begin{aligned} M_1 &\rightarrow \left\{ \begin{aligned} x_3 &= f_3(x_1, x_2, x_4, x_6); \\ x_6 &= f_6(x_5); \\ x_7 &= f_7(x_5, x_6). \end{aligned} \right\}; \\ M_2 &\rightarrow \left\{ \begin{aligned} x_3 &= f_3(x_1, x_2, x_4, x_6); \\ x_5 &= f_5(x_3, x_6); \\ x_7 &= f_7(x_5, x_6). \end{aligned} \right\}. \end{aligned}$$

Заметим, что название переменных из M

связано с тем, что знание $x_i \in M$ позволяет определять остальные переменные по одной из представленных математических моделей.

В рассмотренном примере определение множеств M_1 и M_2 не вызывает затруднений. В более сложных ситуациях необходимо иметь алгоритм их построения.

Для разработки алгоритма построения набора предикторных переменных понадобится матрица смежности [2], которая отражает наличие ориентированных дуг.

Так, для графа, представленного на рис. 1, матрица смежности имеет вид

$$T := \begin{array}{c|ccccccc} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 \\ \hline x_1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ x_4 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ x_6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ x_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Элементы данной матрицы

$$T[i, j] = \begin{cases} 0, & \text{если из } x_i \text{ нет дуги в } x_j; \\ 1, & \text{если из } x_i \text{ есть дуга в } x_j. \end{cases}$$

Матрица смежности T позволяет определять, является ли данная вершина источником. Для этого необходимо вычислить сумму элементов по столбцу и если сумма равна 1, то данная вершина является источником. В рассмотренном примере источниками являются вершины x_1, x_2 и x_4 .

Если просуммировать элементы матрицы по строке и сумма будет равна 1, то вершина представляет собой сток. В примере из рис. 1 и ему соответствующей матрицы T таким свойством обладает строка x_7 .

Так как набор источников входит в каждое множество предикторных переменных, то в это множество не войдут те вершины, в которых имеются дуги от источников (данное утверждение следует из определения 3). В рассмотренном примере таким множеством является $W = \{x_3\}$. И если из $\tilde{V}$ удалить множество W , то получим множество

$$VK = \tilde{V} \setminus W = \{x_5, x_6\}.$$

Это множество будем называть кандидатами в предикторные переменные. В силу того,

что между вершинами x_5 и x_6 имеются дуги, то они одновременно не могут присутствовать в одном и том же наборе M , что в этом примере и приводит к порождению двух наборов M_1 и M_2 , которые были ранее приведены (1).

Алгоритм построения наборов предикторных переменных

Для данного алгоритма исходная информация должна быть представлена в виде: n – количество вершин, V – перечень вершин графа локальных взаимосвязей и матрица смежности T .

Основные элементы алгоритма представляют собой:

Э1. Определение множества источников VI .

```
VI:={}: for x in V do s:=0:
for i from 1 to n do s:=s+T[j,x]
end do: if s=1 then VI:=VI union {x} end do:
```

Э2. Определение множества стоков.

В данном элементе можно использовать процесс как в Э1, только VI необходимо заменить на VS , а сумму S вычислять по формуле

$$s := s + T[x, j].$$

Э3. Формирование множества $\tilde{V}$ по формуле

$$\tilde{V} := V \text{ minus } (VI \text{ union } VS)$$

Э4. Определение множества W – набор вершин, в которые имеются дуги из источников.

Реализация данного элемента в среде Maple [3] будет следующей

```
W:={}: for z in VI do for i
from 1 to n do if T[z,i]=1 then
W:=W union {i} end if: end do:
end do: W:=WminusVI:
```

Э5. Формирование множества VK -кандидатов в предикторные переменные по формуле

$$VK := V \text{ minus } (VI \text{ union } VS \text{ union } W)$$

Э6. Формирование множества Wmm из элементов множества VK . Элементы из Wmm представляют собой списки со свойствами С2 и С3.

Э7. Формирование наборов предикторных переменных по схеме

```
for w in Wmm do M:=VI union
{op(w)} end do:
```

Из перечисленных элементов основным является Э6, который при своей реализации

использует две несложные процедуры: определение последнего элемента в списке и вторая процедура – исключение из множества, элементами которого являются списки, списков по признаку вложенности в другие списки этого множества.

Суть работы элемента Э6 покажем на примере, когда граф локальных связей имеет такой вид, как на рис. 2.

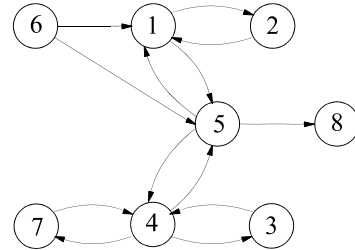


Рис. 2. Граф локальных взаимосвязей

В этом примере $VI = \{6\}$; $VS = \{8\}$; $W = \{1, 5\}$, тогда множество кандидатов в предикторные переменные представляет собой

$$VK = \{2, 3, 4, 7\}.$$

Данное множество является исходной информацией для Э6. Полагаем $x = 2$ первому элементу из VK и среди множества $VK \setminus \{x\}$ определяем тех, которые не имеют дуг с вершиной 2. Таковыми будут $\{3, 4, 7\}$ и формируем множество списков

$$WR = \{[2, 3], [2, 4], [2, 7]\}.$$

Далее для каждого списка из этого множества смотрим, каким элементом его можно пополнить. Так, список $[2, 3]$ можно пополнить элементом 7, а $[2, 7]$ – элементом 3. Тогда для $x = 2$ имеем

$$WR = \{[2, 3, 7], [2, 4], [2, 7, 3]\}.$$

Но третий элемент как множество $\{2, 7, 3\}$ содержится во множестве $\{2, 3, 7\}$, получаемого из элементов первого списка, поэтому список $[2, 7, 3]$ должен быть исключен из WR , т. е. полагаем

$$WR := WR \setminus \{[2, 7, 3]\}$$

и запоминаем его во множестве

$$Wm = \{[2, 3, 7], [2, 4]\}.$$

Далее берем следующий элемент из VK и для него строим очищенное по принадлежности множество $WR = \{[3, 2, 7]\}$, которым попол-

няем Wm и тут же его очищаем по принадлежности, что не приводит к изменению Wm . Аналогично поступаем и с остальными элементами из VK , что приводит к окончательному варианту наборов предикторных переменных в виде списков из $Wm = \{[2, 3, 7], [2, 4]\}$. Пополняя каждый список множеством VI , получаем следующие варианты наборов предикторных переменных для графа на рис. 2

$$\begin{aligned} M_1 &= \{2, 3, 6, 7\}; \\ M_2 &= \{2, 4, 6\}. \end{aligned}$$

Реализацию Э6 можно выполнить, если рассматривать граф на рис. 2 после удаления источников VI и стоков VS (рис. 3).

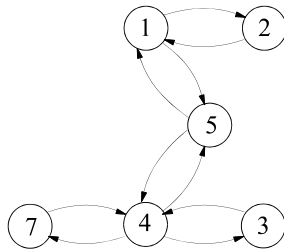


Рис. 3. Граф без источников и стоков

Удалив из этого графа вершины W , которые связаны с источниками получим следующий граф (рис. 4).

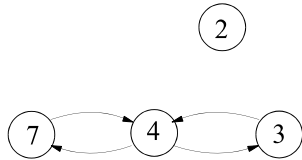


Рис. 4. Граф с вершинами из множества VK

Теперь к этому графу построим дополнительный граф (рис. 5).

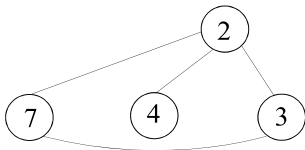


Рис. 5. Дополнительный граф к графу на рис. 4

Набор T называется классом толерантности, если между любыми двумя вершинами из T имеется дуга и этот набор не пополняем без нарушения предыдущего требования [3].

Тогда классы толерантности дополнительного графа будут следующими

$$T_1 = \{2, 4\}; \quad T_2 = \{2, 3, 7\},$$

которые пополним вершинами из множества VI получим необходимый набор предикторных переменных для графа, представленного на рис. 2.

Заметим, что графу, представленному на рис. 5, можно поставить в соответствие матрицу толерантности τ , элементы которой представляет собой

$$\tau_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если между вершинами} \\ & x_i \text{ и } x_j \text{ имеется дуга;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для рассматриваемого примера матрица толерантности будет следующей

	x_2	x_3	x_4	x_7
x_2	1	1	1	1
x_3	1	1	0	1
x_4	1	0	1	0
x_7	1	1	0	1

Рассматривая элементы матрицы как булевы переменные и используя правила упрощения булевых выражений:

$$x + x = x; \quad x \times x = x; \quad x + xy = x$$

изложим алгоритм М. Е. Пиша [4] построения классов толерантности. Для каждой строки матрицы τ и по элементам выше главной диагонали строим x_i плюс произведение тех переменных, которые равны нулю. Если в строке нет нулей, то полагаем, что сумма равна 1. В рассматриваемом примере имеем

$$x_2 \rightarrow x_2 = 1; \quad x_3 \rightarrow x_3 + x_4;$$

$$x_4 \rightarrow x_4 + x_7; \quad x_7 \rightarrow x_7 = 1.$$

Далее строим произведение полученных сумм

$$I = 1 \cdot (x_3 + x_4) \cdot (x_4 + x_7) \cdot 1.$$

Перемножив с учетом правил упрощения булевых переменных, получим

$$S = x_4 + x_3x_7.$$

Теперь строим сумму $\bar{S}$, слагаемые которой являются дополнениями к слагаемым суммы S , тогда

$$\bar{S} = x_2x_3x_7 + x_2x_4,$$

а классы толерантности будут

$$\begin{aligned} T_1 &= \{x_2, x_4\}; \\ T_2 &= \{x_2, x_3, x_7\}. \end{aligned}$$

Изложенное можно представить в виде следующего алгоритма:

III. Введение верхней треугольной части матрицы τ .

П2. Формирование сумм S_{x_i} по формуле

$$S_i = x_i + \prod_{k=1}^n x_{ik},$$

где i_k – номер переменной, для которой $\tau_{x_i x_{ik}} = 0$

П3. Построение суммы $S = \prod_{i=1}^n S_i$ и приведение ее к виду

$$S = P_1 + P_2 + \dots + P_k,$$

где P_k – произведение некоторого набора переменных.

П4. Построение классов толерантности по формуле

$$T_j = \Omega \setminus \{P_j\}, \quad j = 1, \nu,$$

где Ω – перечень переменных, по которым строилась матрица толерантности τ .

В данном алгоритме наиболее трудоемкой операцией является операция приведения суммы $S = \prod_{i=1}^n S_i$ к нормальному виду.

Если A и B – некоторые множества, соответствующие слагаемым S после выполнения произведений, то имеем

$$A + B = \begin{cases} A, & \text{если } A \subset B; \\ B, & \text{если } B \subset A; \\ A + B, & \text{если } (A \not\subset B) \wedge (B \not\subset A). \end{cases} \quad (*)$$

При раскрытии S в общем виде получаем

$$S = A_1 + A_2 + \dots + A_m,$$

где A_i – некоторые произведения x_k и $m \leq 2^{n-1}$.

Операцию (*) необходимо выполнить не более, чем

$$N \leq \frac{m(m-1)}{2},$$

тогда порядок алгоритма М. Е. Пиша будет

$$Q(n) \approx 2^{2n},$$

что при достаточно больших n – числа вершин графа может быть затруднительно реализуемым на ЭВМ.

Напомним, что все изложенное относится к случаю, когда ориентированный граф локальных связей $G(V, E)$ является связным [2]. В противном случае, когда он распадается на графы $G_1(V_1, E_1), \dots, G_m(V_m, E_m)$, для

которых имеет место

$$\left. \begin{aligned} V &= \bigcup_{i=1}^m V_i; & V_i \cap V_j &= \emptyset, \\ E &= \bigcup_{i=1}^m E_i; & E_i \cap E_j &= \emptyset, \quad i \neq j, \end{aligned} \right\}$$

моделирующий процесс распадается на m независимых процессов, которые можно рассматривать в отдельности от других.

Следовательно, в первую очередь исходный граф локальных взаимосвязей (связей) должен быть проверен на связность и определены его связные подграфы.

Так как связность ориентированного графа определяется через соответствующий неориентированный граф, который соответствует симметризованной матрице смежности исходного графа, то затем задача проверки на связность сводится к проверке соответствующего неориентированного графа. Так, например, граф, представленный на рис. 1, имеет соответствующий неориентированный граф с матрицей смежности

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
x_1	1	0	1	0	0	0	0
x_2	0	1	1	0	0	0	0
x_3	1	1	1	1	1	1	0
x_4	0	0	1	1	0	0	0
x_5	0	0	1	0	1	1	1
x_6	0	0	1	0	1	1	0
x_7	0	0	0	0	1	1	1

и проверка на связность сводится к определению простого пути между любыми двумя вершинами по матрице TS .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левич В. Г. Курс теоретической физики. Т. 2. / В. Г. Левич, Ю. А. Вдовин, В. А. Мямлин. – М.: Наука, 1971. – 936 с.
2. Андерсон Д. А. Дискретная математика и комбинаторика. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 960 с.
3. Босов А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу. / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. – Д.: ДІТ, 2006. – 200 с.
4. Емелечев В. А. Лекции по теории графов. / В. А. Емелечев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. – М.: Наука, 1990. – 383 с.

Надійшла до редколегії 20.01.2007.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Запропоновано методику побудови ергатичної моделі для оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних станцій. Наведено результати апробації моделі, що отримані при дослідженні роботи парку прибуття великої сортувальної станції. Для вибору раціонального комплексу організаційно-технічних заходів, що плануються на станції, використані методи векторної оптимізації.

Предложена методика построения эргатической модели для оценки технико-технологических параметров железнодорожных станций. Приведены результаты апробации модели, полученные при исследовании работы парка приема крупной сортировочной станции. Для выбора рационального комплекса организационно-технических мероприятий, планируемых на станции, использованы методы векторной оптимизации.

The report is devoted to a problem of choice of the most effective measure complex for perfection of technical and technological parameters of stations. For the decision of this problem it is offered to use simulation models and methods of vectorial optimization.

Эффективным средством анализа и количественной оценки показателей функционирования железнодорожных станций, их технико-технологических и экономических параметров является имитационное моделирование станционных процессов. Одной из основных проблем, возникающих при создании моделей железнодорожных станций, является имитация действующих систем управления, основным звеном которых является человек-диспетчер (ЧД). Очевидно, что без адекватного моделирования указанных систем невозможно получение достоверной количественной оценки показателей функционирования станций.

Разработке методики имитационного моделирования железнодорожных станций, учитывающей влияние человеческого фактора, посвящено достаточно большое число работ (см. например [1–4]). Так, в работе [1] приведена методика моделирования деятельности ЧД с помощью логических схем алгоритмов (ЛСА) предназначенная для исследования загрузки поездных диспетчеров и дежурных по станции. Анализ деятельности оперативно-диспетчерского персонала (ОДП) показывает, что диспетчер в процессе своей работы обычно решает несколько различных задач одновременно, зачастую требующих взаимно исключающих решений. Построение же ЛСА, учитывающих все многообразие ситуаций в деятельности диспетчера, представляется весьма затруднительным.

Для построения модели деятельности ЧД в [2] разработана методика, в основу которой положены понятия теории информации. Деятельность диспетчера рассматривается как информационный процесс и моделируется как последовательность переходов из одного информативного состояния в другое по мере поступления информации об объекте управления. Предложенную методику рекомендуется использовать для определения загрузки ЧД.

В работах [3; 4] предложена концепция эргатических моделей, в которых лицо, выполняющее моделирование (ЛВМ), принимает непосредственное участие в процессе моделирования и управляет технологическим процессом станции, выполняя функции диспетчера. Указанные модели по своей природе наиболее точно учитывают бихевиоральные факторы, т. е. факторы ассоциированные с поведением человека. Разработанные модели детально имитируют технологические процессы станций и весьма эффективны при создании компьютерных тренажеров ОДП [6]. Однако, использование указанных моделей для количественной оценки параметров станций осложняется достаточно большими затратами времени, необходимого для моделирования работы станции в течение заданного периода времени.

Таким образом, для оценки параметров функционирования станций необходимо создание имитационной модели, учитывающей, с одной стороны, влияние человеческого факто-

ра, а с другой – уменьшение затрат времени на моделирование работы станции.

В этой связи поставлена задача разработки функциональной модели станции (ФМС), ориентированной на решение задачи оценки технико-технологических параметров станций.

ФМС строится на основе эргатической модели, позволяющей устранить указанные выше недостатки. С учетом этого обстоятельства в данной статье сформулированы принципы построения эргатических моделей, предназначенных для определения технико-эксплуатационных параметров станций:

- наличие в ФМС информационной модели станции, обладающей средствами для оценки текущей ситуации и передачи управляющих решений ЛВМ в ФМС;
- выбор очередности обработки и маршрутов движения транспортных объектов лицом, осуществляющим моделирование;
- имитация передвижений подвижного

состава по станции с отображением в информационной модели;

- максимальное ускорение системного времени в случаях, когда технологический процесс строго формализован и не требует вмешательства ЛВМ;
- автоматический переход в реальный масштаб системного времени на период принятия решений ЛВМ.

В статье приведена методика создания эргатической модели для количественной оценки параметров станции (МОПС). Указанная модель разработана на основе изложенных выше принципов для парка приема (ПП) крупной сортировочной станции, схема которого приведена на рис.1. При создании модели использованы отдельные модули, разработанные ранее [3, 5]. В состав МОПС включены модели путевого развития станции (МПР), электрической централизации (ЭЦ), технологического процесса (МТП) и информационная модель (ИМ).

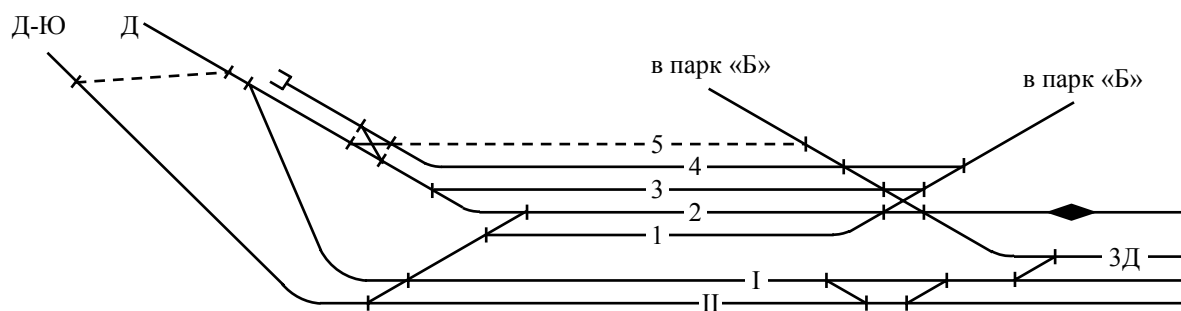


Рис. 1. Схема путевого развития ПП с возможными вариантами реконструкции

При создании моделей ЭЦ и ИМ использован новый подход, целью которого является минимизация времени, необходимого для формализации технического оснащения конкретной станции. Это существенно ускорит тиражирование МОПС для железнодорожных станций сети дорог Украины. Ниже изложены основные принципы построения указанных моделей.

В МОПС процесс функционирования электрической централизации реализован с помощью разработанной модели управления перемещениями подвижного состава (УППС), которая решает задачи:

- контролирует процесс приготовления маршрутов, что исключает возможность враждебных передвижений;
- передает и принимает минимум информации от ЛВМ с помощью ИМ.
- В этой связи УППС выполняет следующие функции:
- контролирует состояния путевых и стрелочных изолированных секций (ИС) станции;

- имитирует перевод стрелок и переключение светофоров по маршрутам движения;
- синхронизирует состояния динамических элементов ИМ с состоянием модели путевого развития на каждом шаге моделирования;
- обрабатывает команды от моторных элементов информационной модели (кнопок).

УППС построена на основе взвешенного ориентированного графа $G(V, E)$. Множество вершин графа V делится на два подмножества вершин: стрелочные переводы V^S (вершины S-типа) и сигналы V^C (вершины C-типа). Дугам графа $e \in E$ соответствуют изолированные путевые участки системы ЭЦ.

В памяти ЭВМ граф G представлен списком дуг, где каждая дуга задана начальной и конечной вершиной. Ориентация дуг графа принята слева направо. Для реализации моделируемых функций граф схемы G дополняется списками технических параметров, характеризующих элементы станции и их функциональные связи в системе станционной автоматики.

Вершинам графа G поставлены в соответствие следующие структуры:

- вершинам S -типа:

$$v_j^s = \{N_s, e_1, e_2, e_3, e_4, I, s\}, v_j^s \in S, j = 1, 2 \dots n_s;$$

где N_s – идентификатор стрелочного перевода в МПР; e_1, e_2, e_3, e_4 – дуги, связанные с данной вершиной в МПР; I – номер ИС, в которую включен данный стрелочный перевод; s – положение стрелочного перевода ($s = 0$ – по прямому пути, $s = 1$ – по боковому пути); n_s – общее число стрелок на станции.

- вершинам C -типа:

$$v_i^c = \{N_C, e_n, I_n, \sigma_C\}, v_i^c \in C, i = 1, 2, \dots, n_c;$$

где N_C – идентификатор сигнала в МПР; e_n – дуга, началом которой является данная вершина в МПР; I_n – номер ИС, занятие которой инициирует перекрытие сигнала; σ_C – состояние сигнала ($\sigma_C = 0$ – открыт, $\sigma_C = 2$ – закрыт); n_c – общее число сигналов на станции.

Каждой дуге графа G в модели УППС поставлена в соответствие структура:

$$U_l = \{N_{py}, q, I, \sigma_{ис}\}, l = 1, 2, \dots, r, \quad (1)$$

где N_{py} – номер путевого участка в МПР; q – номер дуги или вершины, инцидентной данной дуге; I – номер изолированной секции системы ЭЦ, в которую включен данный участок; $\sigma_{ис}$ – состояние соответствующей ИС ($\sigma_{ис} = 0$ – ИС свободна, $\sigma_{ис} = 1$ – замкнута в маршруте, $\sigma_{ис} = 2$ – занята подвижным составом); r – общее количество ИС на станции.

Для примера на рис. 2 приведен фрагмент схемы станции в модели УППС.

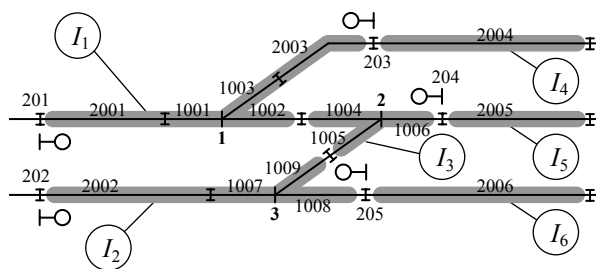


Рис. 2. Представление путевого развития станции в модели УППС

На каждом шаге системного времени УППС осуществляет контроль текущего состояния всех изолированных секций. При этом для каждой ИС проверяется занятость подвижным составом путевых участков в МЗП. Изолирован-

ная секция считается свободной, если все путевые участки, входящие в ее состав, не заняты подвижным составом. При изменении состояния секции (замыкание, занятие или освобождение) в информационную модель передается команда, в которой указывается номер ИС I и ее состояние $\sigma_{ис}$ (1).

Для моделирования перемещений поездов и маневровых составов по станции необходим полный список всех возможных маршрутов $M_i, i = 1, \dots, n$. Под маршрутом будем понимать список изолированных участков U (1), которые занимает объект при движении по станции. При этом начальными и конечными точками i -го маршрута должны быть вершины C -типа (сигналы) и соответствующие им изолированные участки U . В этой связи отдельный маршрут представляется структурой:

$$M_i = \{N_m, v_n, v_k, U, S\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где N_m – идентификатор маршрута; v_n, v_k – соответственно начальный и конечный сигналы маршрута; U – список изолированных участков, занятых в маршруте; S – список номеров стрелочных переводов и их положений в маршруте.

Для построения указанного списка маршрутов используется МПР станции в виде ориентированного графа G . Очевидно, что направление начального v_n и конечного v_k сигналов не должны совпадать. В этой связи, при поиске маршрута M_i выполняется обход графа G в сторону, соответствующую направлению установки сигнала v_n пока не будет найден сигнал v_k с противоположным направлением действия. При этом в соответствующие списки данного маршрута M_i (2) заносятся номера изолированных участков, стрелочных переводов и их положений в маршруте. Поиск маршрутов осуществляется отдельно в каждой горловине парка станции.

В результате такого обхода графа G , для каждой вершины v_n формируется дерево маршрутов P , где каждому узлу дерева соответствует идентификатор определенного изолированного участка U_l (1). При этом один узел является корнем дерева, а остальные – разбиты на $m > 0$ поддеревьев $P_1, P_2, \dots, P_m$. Узлы, не имеющие поддеревьев (листья), являются конечными точками маршрута. Упорядоченное множество деревьев, построенных от всех начальных точек маршрутов в горловине, определим как лес. Лес маршрутов для горловины парка показан на рис. 2, представлен на рис. 3.

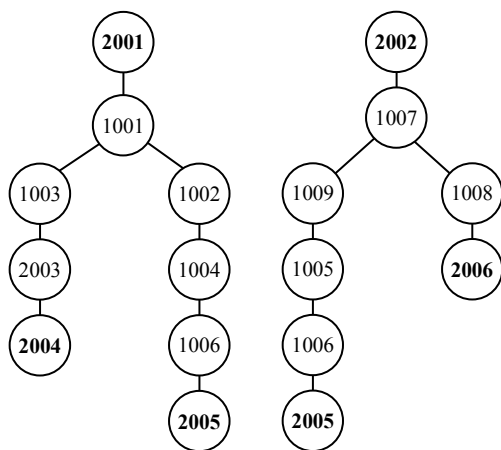


Рис. 3. Лес маршрутов горловины парка

При этом нужно отметить, что некоторые узлы, не имеющие поддеревьев (листья), могут иметь одинаковую нумерацию. Подобные случаи свидетельствуют о наличии в горловине вариантных маршрутов. Общее число листьев во всех деревьях соответствует числу возможных маршрутов n в горловине.

На основании сформированных деревьев P_m получают списки маршрутов, которые в дальнейшем классифицируются по категориям (маршруты приема, отправления с разбивкой по направлениям, а также маневровые с разделе-

нием по их специализации – заезд, надвиг, перестановка и др.). При этом маршруты каждой такой группы при необходимости сортируют в порядке предпочтения их направления, учитывая при этом варианты маршруты.

При эргатическом моделировании железнодорожных станций с целью его ускорения, основную часть моделирования технологического процесса выполняет ЭВМ. Однако, при возникновении конфликтных ситуаций, требующих принятия управленческих решений (выбор пути приема поезда, выбор очередности обслуживания составов, выбор локомотива и т. д.), эти действия возлагаются на ЛВМ. В этой связи ФМС должна в интерактивном режиме обеспечить ЛВМ возможность контроля текущей ситуации, принятия решений и передачи управляющих команд. С этой целью в состав ФМС введена информационная модель, которая используется ЛВМ для реализации указанных функций.

Информационная модель включает совокупность данных, необходимых ЛВМ для контроля и управления объектами в модели станции. В этой связи ИМ для МОПС парка приема (см. рис. 1) представлена в виде мнемосхемы парка и набора элементов визуального контроля и управления (рис. 4).

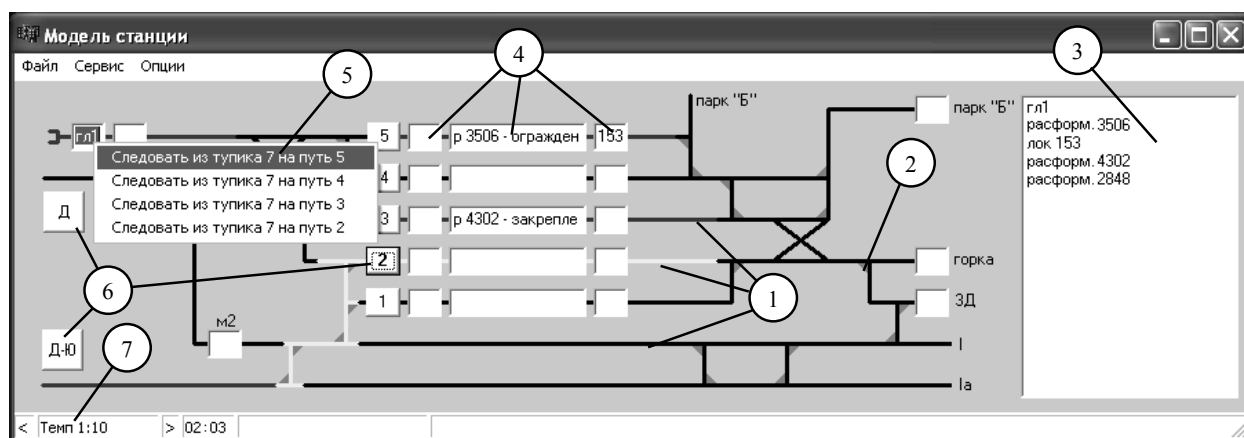


Рис. 4. Информационная модель станции

Схема парка представлена в виде отдельных участков пути (рис. 4, 1). С целью визуального контроля занятости изолированных стрелочных и путевых секций, линии могут изменять цвет: красный – секция занята подвижным составом, желтый – секция замкнута в маршруте, черный – секция свободна.

Для экономии экранного пространства общепринятая схема представления стрелочных переводов в ИМ заменена схемой, в которой стрелочный угол равен 90° . При этом на соответствующих визуальных элементах при по-

мощи меток (рис. 4, 2) указаны направления, по которым подвижной состав может перемещаться по стрелочным переводам с отклонением на боковой путь.

Для учета объектов подвижного состава (поездов, локомотивов, групп вагонов), находящихся в парке и на подходах к нему, в ИМ включен динамически изменяющийся список (рис. 4, 3), в котором отображаются тип и номера указанных объектов.

Для отображения состояния путевых участков, на которых могут находиться стоящие ло-

комotiveв или группы вагонов, в ИМ предусмотрены информационные поля, в которых указываются номера локомотивов или идентификаторы группы вагонов (рис. 4, 4).

Управление локомотивами осуществляется при помощи контекстных меню команд (рис. 4, 5). В этих меню приводится список команд, которые может выполнить локомотив в текущий момент времени. Контекстные меню активизируются при выборе указанных выше полей только в тех случаях, когда локомотивы находятся на соответствующих путевых участках в ожидании выполнения определенных действий.

Для приготовления маршрутов перемещения объектов по станции в ИМ предусмотрены кнопки (рис. 4, 6), при нажатии которых в модель УППС посылаются команды, инициирующие проверку и реализацию заданного маршрута. При этом воздействие на моторные элементы ИМ осуществляется с помощью манипулятора «мышь».

Во время работы с МОПС можно изменять темп моделирования. Для этого в ИМ предусмотрена панель управления скоростью изменения системного времени (рис. 4, 7), с помощью которой ее можно варьировать в широких пределах. ФМС автоматически переходит в режим реального времени в случае возникновения конфликтной ситуации, для разрешения которой необходима команда ЛВМ. После принятия решения и ввода команды ЛВМ может вновь увеличить темп моделирования до необходимой величины. Такая организация работы модели позволяет значительно ускорить процесс моделирования и в то же время обеспечивает ЛВМ необходимым запасом времени для принятия решений.

Для идентификации разработанной имитационной модели были выполнены статистические исследования параметров потока поездов, поступающих в парк приема рассматриваемой сортировочной станции. Определены численные характеристики распределений случайных величин интервала прибытия поездов, а также продолжительности выполнения отдельных операций технологического процесса их обслуживания. Для некоторых операций с использованием методов регрессионного анализа было установлено наличие функциональной зависимости их продолжительности от величины состава и числа отцепов в составе.

Оценка адекватности разработанной модели была выполнена с использованием параметрического критерия Уилкоксона. С этой целью были исследованы выборки случайных величин

времени нахождения расформируемых составов в парке приема, полученных на реальной станции $x = (x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ и в результате моделирования $y = (y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$. По данным

выборок определены статистические оценки математических ожиданий $\bar{x}$ и $\bar{y}$ и средних квадратических отклонений s_x и s_y ; при этом было установлено, что случайные величины X и Y распределены по логарифмически-нормальному закону.

В результате статистического анализа была подтверждена гипотеза о принадлежности выборок x и y к одной генеральной совокупности. На основании этого был сделан вывод о том, что модель парка приема адекватна реальной станции.

Для получения необходимых технико-эксплуатационных показателей проектируемой или реконструируемой станции в модели фиксируются моменты начала и окончания каждой технологической операции с каждым объектом (поездом, локомотивом, составом). Эти данные используются для определения общего времени нахождения объектов в системе, а также простоев в ожидании их обслуживания и задержек отдельных передвижений подвижного состава.

В процессе моделирования фиксируется продолжительность занятия путевых и стрелочных секций, а также всех обслуживающих устройств (маневровых локомотивов, горки, бригад ПТКО, операторов станционного технологического центра и др.). Указанные данные используются для расчета загрузки элементов станции и последующего анализа соответствия ее конструкции и технологии работы заданным размерам движения, характеру и объемам переработки.

Указанные данные позволяют получить количественные значения параметров, характеризующих различные варианты технико-технологических решений. Каждый вариант можно охарактеризовать двумя интегральными показателями: количественным (например, затраты на реализацию варианта) и качественным (например, простой вагонов на станции, перерабатывающая способность). В большинстве случаев на реализацию комплекса мероприятий, направленных на совершенствование конструкции или технологии работы станции, выделяется определенный лимит ресурсов (денежных, материальных, трудовых и т.д.). При этом возникает проблема выбора варианта, на который следует направить выделенные средства для получения максимального эффекта. Для решения указанной задачи может быть ис-

пользована методика, основанная на принципах векторной оптимизации [7].

При формализации задачи станция рассматривается как сложная система, состоящая из множества элементов, к которым можно отнести путевое развитие, систему обслуживания, систему управления и др. Комплекс мероприятий γ_i , направленных на повышение эффективности функционирования станции, в общем случае предусматривает проведение работ на каждом таком элементе:

$$\gamma_i = \{W_1, W_2, \dots, W_j, \dots, W_n\}, \quad (3)$$

где W_j – множество возможных мероприятий на j -м элементе станции (реконструкция горловин, изменение числа путей, количества исполнительных технологических операций и др.).

На реализацию каждого варианта (комплекса мероприятий) требуются определенные затраты средств $Z(\gamma_i)$; с другой стороны, реализация варианта γ_i позволит получить определенное значение качественного показателя $\Psi(\gamma_i)$. Конкретные значения указанных показателей могут быть получены по результатам моделирования работы станции с помощью ее эргатической модели.

Набор возможных вариантов составляет множество $|\Gamma| = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k\}$. Решением задачи является такое подмножество $|\Gamma^*| = \{\gamma_1^*, \gamma_2^*, \dots, \gamma_m^*\}$, для каждого из элементов которого выполняется условие:

$$\begin{pmatrix} Z(\gamma^*), \\ \Psi(\gamma^*) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (4)$$

Указанная задача в изложенной постановке является задачей векторной оптимизации и может быть решена с помощью метода неопределенных множителей Лагранжа [7]. Результатом решения является подмножество точек, каждая из которых при заданной величине затрат $Z(\gamma^*)$ определяет наиболее рациональный комплекс мероприятий γ^* . При этом полученное подмножество точек $|\Gamma^*|$ включает лишь так называемые эффективные решения, каждое из которых предусматривает улучшение значения качественного показателя при увеличении затрат.

Апробация разработанной методики была выполнена при исследовании и оптимизации технического оснащения и технологии работы парка приема, приведенного на рис. 1. Анализ конструкции путевого развития этого ПП и технологии его работы позволил выявить определенные недостатки. Так, входная горловина предусматривает возможность приема поездов

из Д-Ю только на два пути, что вызывает задержки поездов при увеличении поездопотока с этого направления. Кроме того, в условиях постепенного увеличения объемов перевозок возникла необходимость в восстановлении пути № 5, который ранее был закрыт и разобран. Технический осмотр составов в ПП выполняет одна бригада ПТО, включающая 2 группы осматривающих вагонов, а расформирование на горке выполняет один горочный локомотив. Как показал анализ, входной поездопоток станции характеризуется существенной неравномерностью, которая при таком оснащении может вызывать значительную загрузку технических средств ПП в период сгущенного прибытия поездов. Это, в свою очередь, приводит к снижению перерабатывающей способности станции в целом.

В этой связи была поставлена задача исследования и выбора рациональных технико-технологических параметров ПП для повышения эффективности его функционирования. С этой целью был рассмотрен ряд возможных реконструкционных и организационных мероприятий W_j (3):

- 1) изменение числа путей в ПП $W_1 = \{4; 5\}$;
- 2) выбор конструкции входной горловины для приема поездов из Д-Ю $W_2 = \{0; 1\}$; здесь вариант $W_2 = 0$ соответствует существующей горловине, $W_2 = 1$ – предусматривает ее реконструкцию для обеспечения приема поездов из Д-Ю на все пути ПП;
- 3) выбор количества горочных локомотивов $W_3 = \{1; 2\}$;
- 4) выбор количества бригад ПТО: $W_4 = \{1; 2\}$;
- 5) выбор числа групп осматривающих вагонов в каждой бригаде $W_5 = \{2; 3; 4\}$.

Таким образом, было получено 48 множеств γ_i , каждое из которых представляет собой комбинацию указанных выше мероприятий W_j .

По каждому варианту γ_i определялось два показателя: $Z(\gamma_i)$ – годовые приведенные затраты P_i на реализацию данного комплекса мероприятий, тыс. грн/год; $\Psi(\gamma_i)$ – максимальная перерабатывающая способность парка приема N_i , которая может быть достигнута при реализации варианта γ_i , вагонов/сутки.

При этом задача (4) представляется в виде:

$$\begin{pmatrix} P(\gamma^*), \\ -N(\gamma^*) \end{pmatrix} \rightarrow \min.$$

Для получения технико-эксплуатационных показателей, которые характеризуют функционирование ПП по каждому из намеченных вариантов, было выполнено моделирование рабо-

ты ПП с использованием эргатической модели. Для каждого варианта при одинаковых начальных условиях была выполнена серия вычислительных экспериментов, по результатам которых были определены средние значения показателей функционирования ПП, в т.ч.: средний простой составов в ПП, средний простой поездов на соседних станциях, число расформированных поездов, загрузка исполнителей технологических операций и др.

Для определения значения N_i эксперименты с моделью по каждому варианту γ_i выполнялись при различной интенсивности λ входящего поездопотока. При этом максимально возможное значение перерабатывающей способности N_i определялось по эксперименту с пороговым значением λ^* , при котором был достигнут кри-

тический уровень насыщения системы обслуживания ПП, Пороговое значение интенсивности λ^* фиксировалось, когда при его дальнейшем увеличении суточное число обслуженных поездов в парке не изменялось.

С учетом полученных значений показателей по каждому варианту комплекса планируемых мероприятий γ_i были рассчитаны годовые приведенные затраты на его реализацию Π_i . Таким образом, было получено множество $|\Gamma| = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{48}\}$, которое приведено в табл. 1, а также представлено на рис. 5 в виде поля точек.

На основе решения задачи векторной оптимизации из множества $|\Gamma|$ было выделено подмножество $|\Gamma^*|$, которое включает лишь эффективные варианты и является решением поставленной задачи.

Таблица 1

Результаты моделирования работы парка приема сортировочной станции

№ п/п	Множество γ_i					Показатели		№ п/п	Множество γ_i					Показатели	
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	Π_i	N_i		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	Π_i	N_i
1	4	0	1	1	2	2671,2	1540	25	4	1	1	1	2	2973,7	1540
2	4	0	1	1	3	3204,0	1980	26	4	1	1	1	3	3510,1	1980
3	4	0	1	1	4	3490,0	2200	27	4	1	1	1	4	3790,3	2200
4	4	0	1	2	2	3425,8	2200	28	4	1	1	2	2	3703,5	2200
5	4	0	1	2	3	3749,0	2420	29	4	1	1	2	3	3979,0	2420
6	4	0	1	2	4	4016,4	2530	30	4	1	1	2	4	4281,6	2530
7	4	0	2	1	2	3199,0	1705	31	4	1	2	1	2	3494,9	1705
8	4	0	2	1	3	3705,7	2145	32	4	1	2	1	3	4023,0	2145
9	4	0	2	1	4	4002,9	2420	33	4	1	2	1	4	4281,9	2420
10	4	0	2	2	2	4000,2	2475	34	4	1	2	2	2	4231,6	2475
11	4	0	2	2	3	4337,2	2805	35	4	1	2	2	3	4582,1	2805
12	4	0	2	2	4	4625,5	3135	36	4	1	2	2	4	4832,0	3135
13	5	0	1	1	2	2996,1	1650	37	5	1	1	1	2	3222,6	1595
14	5	0	1	1	3	3434,4	2035	38	5	1	1	1	3	3727,5	2035
15	5	0	1	1	4	3643,5	2200	39	5	1	1	1	4	3932,9	2200
16	5	0	1	2	2	3623,3	2255	40	5	1	1	2	2	3908,0	2255
17	5	0	1	2	3	3950,7	2475	41	5	1	1	2	3	4225,5	2475
18	5	0	1	2	4	4230,7	2585	42	5	1	1	2	4	4513,8	2585
19	5	0	2	1	2	3346,6	1705	43	5	1	2	1	2	3654,2	1705
20	5	0	2	1	3	3934,3	2200	44	5	1	2	1	3	4191,6	2200
21	5	0	2	1	4	4188,6	2475	45	5	1	2	1	4	4492,6	2475
22	5	0	2	2	2	4203,6	2585	46	5	1	2	2	2	4513,3	2585
23	5	0	2	2	3	4523,0	2860	47	5	1	2	2	3	4841,9	2860
24	5	0	2	2	4	4756,6	3190	48	5	1	2	2	4	5090,6	3245

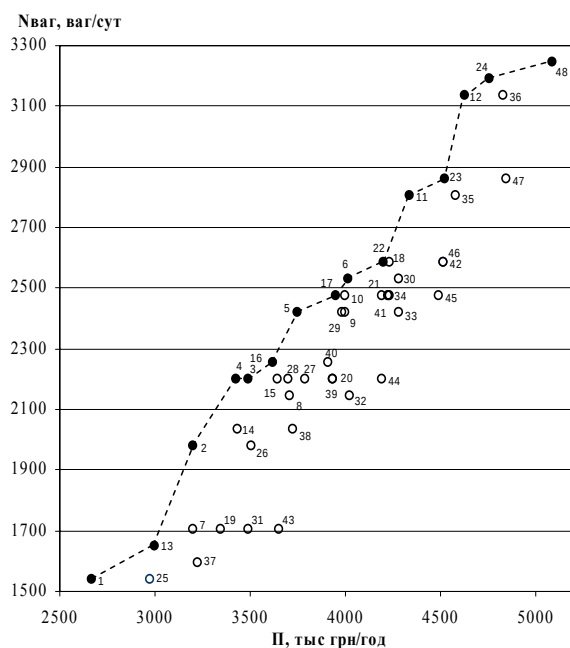


Рис. 5. Поле точек множества $|Г|$

Элементы подмножества $|Г^*|$ выделены в табл. 1. На рис. 5 также выделены точки, соответствующие эффективным вариантам организационно-технических мероприятий, которые могут быть реализованы на станции. Полученное решение позволяет осуществлять выбор рационального комплекса мероприятий, обеспечивающих максимальную эффективность работы парка приема, в зависимости от объемов финансирования проекта. Так, при допустимых годовых приведенных расходах Π_i 3 млн. грн. эффективным является вариант №13, который предполагает сооружение в ПП дополнительного 5-го пути; при этом сохраняется существующая конструкция входной горловины и техническое оснащение ПП (1 маневровый локомотив, 1 бригада ПТО из 2-х групп осмотрщиков вагонов. Реализация данного варианта обеспечивает перерабатывающую способность парка 1650 вагонов/сутки. Для сравнения вариант №25 при таких же расходах позволяет переработать только 1540 вагонов.

Подобное решение может быть получено для всех технических станций участка железной дороги. Это позволит руководству дороги определить наиболее эффективный вариант

распределения ресурсов при модернизации станций участка, позволяющий обеспечить максимальную (заданную) пропускную способность станций и всего участка при минимуме затрат. Разработанная методика, модели и соответствующее программное обеспечение могут быть положены в основу современной системы поддержки принятия решений для руководства железных дорог. Такая система позволит осуществлять эффективное технико-экономическое управление инфраструктурой железнодорожного транспорта Украины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокурин И. М. Методика количественной оценки деятельности человека-оператора железнодорожных автоматизированных систем управления // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 404. – Л.: ЛИИЖТ, 1977. – С. 73–83.
2. Сапунов Н.А. Об оценке количества информации в системе управления сортировочной станцией // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 364. – Л.: ЛИИЖТ, 1973. – С. 80–91.
3. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В. Эргатические модели железнодорожных станций. // 36. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології», Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 80–86.
4. Бобровский В.И. Эргатические модели сортировочных горок // Информационно – управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2001. – № 5. – С. 7–11.
5. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В. Техничко-економическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей. // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 6. – С. 17–21.
6. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно-диспетчерского персонала // Мат. моделювання. – 2000. – №2(5). – С. 68 – 71.
7. Босов А. А., Мухіна Н. А., Піх Б. П. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу. – Д.: ДНУЗТ, 2005. – 200 с.

Поступила в редколлегию 25.06.2007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТОКОВ НА ГРАФЕ

В якості математичної моделі задачі визначення раціональних потоків на графі була розглянута задача векторної оптимізації на графах. Розглянуто приклад її вирішення.

В качестве математической модели задачи определения рациональных потоков на графе была рассмотрена задача векторной оптимизации на графах. Рассмотрен пример ее решения.

As mathematical model the definition of rational streams on the column the problem of vector optimization on columns has been considered. The example of its decision is considered.

Задача построения графа минимальной длины широко рассмотрена в литературе и имеет множество алгоритмов ее решений [1-2]. Задача рационального распределения потоков между станциями также широко представлена в литературе. В данной работе задача определения рациональных потоков на сети минимальной суммарной длины впервые представлена как задача векторной оптимизации.

Пусть $G(V, E)$ – неориентированный граф с перечнем вершин V и ребер E . Каждому ребру сопоставлено число $R(e)$.

На графе $G(V, E)$ заданы потоки P_{ij} , $i, j \in V$.

Пусть W_{ij} – набор простых путей из i в j , а ω – некоторый простой путь из W_{ij} .

Обозначим через $X_{ij\omega}$ часть потока P_{ij} , который реализуется на пути ω , тогда имеет место

$$\sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} = P_{ij} \quad (1)$$

Введем индикатор ребра e на пути ω , т. е.

$$I_{\omega}(e) = \begin{cases} 1, & \text{если } e \in \omega; \\ 0, & \text{если } e \notin \omega, \end{cases}$$

тогда суммарный поток по ребру e для набора путей W_{ij} составит

$$\sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} \cdot I_{\omega}(e),$$

а общий поток по данному ребру e будет равен

$$\sum_{i, j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} \cdot I_{\omega}(e); \quad e \in E.$$

Если $N(e)$ – максимально допустимый поток для ребра e , то должно выполняться ограничение по пропускной способности

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

Если положить $l(\omega)$ – длина пути ω , $l(\omega) = \sum_{e \in \omega} R(e)$, то величина

$$Pr = \sum_{i, j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} \cdot l(\omega) \quad (3)$$

может служить оценкой рациональности распределения заданных потоков P_{ij} , $i, j \in V$ на графе $G(V, E)$.

Обозначим E_* – набор ребер, которые были использованы для построения набора простых путей между всеми вершинами, тогда величина

$$L(E_*) = \sum_{e \in E_*} R(e) \quad (4)$$

отображает длину сети $G(V, E_*)$.

Т. е. имеет место задача: определить такое распределение потоков $X_{ij\omega}$, чтобы показатели Pr и $L(E_*)$ были минимальными, и выполнялись условия (1) и (2).

Другими словами приходим к задаче векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} L(E_*) \\ Pr \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (5)$$

при условиях (1), (2).

Заметим, что в суммировании $\sum_{i, j \in V}$ должно

быть $i < j$, это означает, что будет определено распределение потоков в одном направлении (туда), если $i > j$, то получим распределение в другом направлении (обратно).

Пример. Рассмотрим граф G (рис. 1), отображающий сеть имеющихся дорог между восьмью городами. Зададим названия ребер: $e1 = \{1, 2\}$, $e2 = \{1, 6\}$, $e3 = \{2, 3\}$, $e4 = \{2, 5\}$, $e5 = \{3, 4\}$, $e6 = \{4, 5\}$, $e7 = \{4, 8\}$, $e8 = \{5, 6\}$, $e9 = \{5, 7\}$, $e10 = \{7, 8\}$.

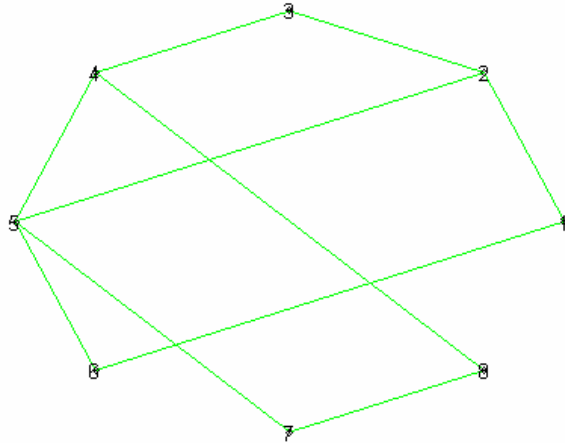


Рис. 1. Исходный граф

Заданная матрица расстояний $R(e)$ и пассажиропотоков P_{ij} имеют вид:

$$R(e) = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 3 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 0 & 1 & 0 & 0 & 17 \\ 0 & 6 & 0 & 1 & 0 & 31 & 21 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 31 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 21 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 17 & 0 & 0 & 15 & 0 \end{bmatrix},$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 20 & 10 & 23 & 21 & 5 & 7 & 9 \\ 20 & 0 & 8 & 16 & 17 & 6 & 4 & 8 \\ 10 & 8 & 0 & 5 & 40 & 23 & 16 & 17 \\ 3 & 6 & 5 & 0 & 11 & 21 & 17 & 40 \\ 1 & 2 & 4 & 11 & 0 & 5 & 6 & 3 \\ 20 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 23 & 12 & 0 & 24 & 0 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 11 & 0 \end{bmatrix}.$$

Ограничения по пропускной способности для каждого ребра примем одинаковым, и будет равным $N(e) = 209$.

Используя пакет символьных вычислений Maple [3], получим решение по распределению

пассажиропотоков на простых путях с учетом пропускных способностей ребер.

На первом этапе решения задачи построим остовный граф минимальной суммарной длины [1] $H(V, E_{\min})$ (рис. 2).

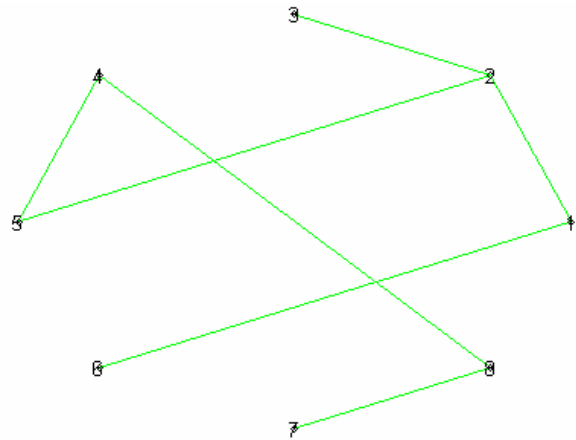


Рис. 2. Остовный граф минимальной суммарной длины

Суммарная длина построенного графа $H(V, E_{\min})$ составляет $R_{ij}(E_{\min}) = 45$, набор ребер данного графа — $E_* = \{e1, e2, e3, e4, e6, e7, e10\}$.

Построенное множество всех простых путей из i в j , при чем $i < j$, т. е. рассматривается одно направление (туда), для графа $H(V, E_{\min})$ представлено в табл. 1.

Распределение пассажиропотока на множестве простых путей осуществляется следующим образом:

- из вершины 3 в вершину 6 по пути $[e3, e1, e2]$ реализуется пассажиропоток – 23;
- из вершины 2 в вершину 7 по пути $[e4, e6, e7, e10]$ реализуется пассажиропоток – 4;
- из вершины 3 в вершину 7 по пути $[e3, e4, e6, e7, e10]$ реализуется пассажиропоток – 16;
- из вершины 1 в вершину 3 по пути $[e1, e3]$ реализуется пассажиропоток – 10;
- из вершины 2 в вершину 6 по пути $[e1, e2]$ реализуется пассажиропоток – 6;
- из вершины 3 в вершину 5 по пути $[e3, e4]$ реализуется пассажиропоток – 40;
- из вершины 1 в вершину 2 по пути $[e1]$ реализуется пассажиропоток – 20;
- из вершины 5 в вершину 8 по пути $[e6, e7]$ реализуется пассажиропоток – 3;
- из вершины 1 в вершину 7 по пути $[e1, e4, e6, e7, e10]$ реализуется пассажиропоток – 7;

- из вершины 5 в вершину 7 по пути [e6, e7, e10] реализуется пассажиропоток – 6;
- из вершины 7 в вершину 8 по пути [e10] реализуется пассажиропоток – 15;
- из вершины 4 в вершину 5 по пути [e6] реализуется пассажиропоток – 11;
- из вершины 1 в вершину 5 по пути [e1, e4] реализуется пассажиропоток – 21;
- из вершины 4 в вершину 7 по пути [e7, e10] реализуется пассажиропоток – 17;
- из вершины 1 в вершину 6 по пути [e2] реализуется пассажиропоток – 5;
- из вершины 2 в вершину 3 по пути [e3] реализуется пассажиропоток – 8;
- из вершины 2 в вершину 5 по пути [e4] реализуется пассажиропоток – 17;
- из вершины 4 в вершину 8 по пути [e7] реализуется пассажиропоток – 40;

- из вершины 3 в вершину 8 по пути [e3, e4, e6, e7] реализуется пассажиропоток – 17;
- из вершины 4 в вершину 6 по пути [e6, e4, e1, e2] реализуется пассажиропоток – 21;
- из вершины 5 в вершину 6 по пути [e4, e1, e2] реализуется пассажиропоток – 5;
- из вершины 1 в вершину 4 по пути [e1, e4, e6] реализуется пассажиропоток – 23;
- из вершины 1 в вершину 8 по пути [e1, e4, e6, e7] реализуется пассажиропоток – 9;
- из вершины 2 в вершину 4 по пути [e4, e6] реализуется пассажиропоток – 16;
- из вершины 2 в вершину 8 по пути [e4, e6, e7] реализуется пассажиропоток – 8;
- из вершины 3 в вершину 4 по пути [e3, e4, e6] реализуется пассажиропоток – 5.

Таблица 1

Простые пути остоного графа

	В 2	В 3	В 4	В 5	В 6	В 7	В 8
Из 1	[e1]	[e1, e3]	[e1, e4, e6]	[e1, e4]	[e2]	[e1, e4, e6, e7, e10]	[e1, e4, e6, e7]
Из 2	–	[e3]	[e4, e6]	[e4]	[e1, e2]	[e4, e6, e7, e10]	[e4, e6, e7]
Из 3	–	–	[e3, e4, e6]	[e3, e4]	[e3, e1, e2]	[e3, e4, e6, e7]	[e3, e4, e6, e7]
Из 4	–	–	–	[e6]	[e6, e4, e1, e2]	[e7, e10]	[e7]
Из 5	–	–	–	–	[e4, e1, e2]	[e6, e7, e10]	[e6, e7]
Из 6	–	–	–	–	–	[e2, e1, e4, e6, e7, e10]	[e2, e1, e4, e6, e7]
Из 7	–	–	–	–	–	–	[e10]

При данном распределении нагрузка на каждое ребро по пассажиропотоку отображена в табл. 2: что удовлетворяет ограничению на пропускную способность.

А значение показателя рациональности распределения потоков составит 5241.

Множество ребер, которые не вошли в граф $H(V, E_{\min})$ представляет собой:

$$\{e5, e8, e9\}.$$

Построим всевозможные комбинации из элементов данного множества:

$$QE = \{\{e5, e8, e9\}, \{e5, e9\}, \{e5, e8\}, \{e8, e9\}, \\ \{e5\}, \{e8\}, \{e9\}\}.$$

Выбирая из построенного множества комбинацию ребер, поочередно добавляем их к графу $H(V, E_{\min})$ и производим распределение пассажиропотока на полученном графе для всех простых путей данного графа, при чем начинаем выбор комбинации ребер с минимального веса.

Т. е. следующим шагом для распределения пассажиропотока будет добавление к графу $H(V, E_{\min})$ ребра $\{e5\}$, вес которого равен 11. Распределение потока для данного графа будет таким же, как и для графа минимального веса, следовательно, нагрузка на ребра такая же, как представлено в табл. 2 и значение показателя рациональности распределения не измениться.

Нагрузка ребер по пассажиропотоку

Ребро	$e1$	$e2$	$e3$	$e4$	$e6$	$e7$	$e10$
Пассажиропоток	60	119	209	146	127	65	145

На следующем этапе к графу $H(V, E_{\min})$ добавим ребро $\{e9\}$, вес которого равен 21. Распределение потока на данном графе осуществляется следующим образом:

- из вершины 3 в вершину 6 по пути $[e3, e1, e2]$ реализуется пассажиропоток – 23;
- из вершины 2 в вершину 7 по пути $[e4, e9]$ реализуется пассажиропоток – 4;
- из вершины 3 в вершину 7 по пути $[e3, e4, e9]$ реализуется пассажиропоток – 16;
- из вершины 1 в вершину 3 по пути $[e1, e3]$ реализуется пассажиропоток – 10;
- из вершины 2 в вершину 6 по пути $[e1, e2]$ реализуется пассажиропоток – 6;
- из вершины 3 в вершину 5 по пути $[e3, e4]$ реализуется пассажиропоток – 40;
- из вершины 1 в вершину 2 по пути $[e1]$ реализуется пассажиропоток – 20;
- из вершины 5 в вершину 8 по пути $[e6, e7]$ реализуется пассажиропоток – 3;
- из вершины 1 в вершину 7 по пути $[e1, e4, e9]$ реализуется пассажиропоток – 7;
- из вершины 5 в вершину 7 по пути $[e9]$ реализуется пассажиропоток – 6;
- из вершины 7 в вершину 8 по пути $[e10]$ реализуется пассажиропоток – 15;
- из вершины 4 в вершину 5 по пути $[e6]$ реализуется пассажиропоток – 11;
- из вершины 1 в вершину 5 по пути $[e1, e4]$ реализуется пассажиропоток – 21;
- из вершины 4 в вершину 7 по пути $[e6, e9]$ реализуется пассажиропоток – 17;
- из вершины 1 в вершину 6 по пути $[e2]$ реализуется пассажиропоток – 5;
- из вершины 2 в вершину 3 по пути $[e3]$ реализуется пассажиропоток – 8;
- из вершины 2 в вершину 5 по пути $[e4]$ реализуется пассажиропоток – 17;
- из вершины 4 в вершину 8 по пути $[e7]$ реализуется пассажиропоток – 40;
- из вершины 3 в вершину 8 по пути $[e3, e4, e6, e7]$ реализуется пассажиропоток – 17;
- из вершины 4 в вершину 6 по пути $[e6, e4, e1, e2]$ реализуется пассажиропоток – 21;
- из вершины 5 в вершину 6 по пути $[e4, e1, e2]$ реализуется пассажиропоток – 5;
- из вершины 1 в вершину 4 по пути $[e1, e4, e6]$ реализуется пассажиропоток – 23;
- из вершины 1 в вершину 8 по пути $[e1, e4, e6, e7]$ реализуется пассажиропоток – 9;
- из вершины 2 в вершину 4 по пути $[e4, e6]$ реализуется пассажиропоток – 16;
- из вершины 2 в вершину 8 по пути $[e4, e6, e7]$ реализуется пассажиропоток – 8;
- из вершины 3 в вершину 4 по пути $[e3, e4, e6]$ реализуется пассажиропоток – 5.

При данном распределении нагрузка на каждое ребро по пассажиропотоку отображена в табл. 3: что удовлетворяет ограничению на пропускную способность.

Таблица 3

Нагрузка ребер по пассажиропотоку

Ребро	$e1$	$e2$	$e3$	$e4$	$e6$	$e7$	$e9$	$e10$
Пассажиропоток	60	119	209	130	77	50	15	145

Значение показателя рациональности распределения потоков составит 4675.

Проводя дальнейшее распределение пассажиропотоков, добавляем в граф $H(V, E_{\min})$

комбинации ребер из множества QE . Значения показателей рациональности для данных графов сведем в табл. 4.

Значения показателей рациональности при добавлении в граф $H(V, E_{\min})$ комбинации ребер, начиная с минимального веса

Номер варианта	Добавляемые ребра в граф $H(V, E_{\min})$	Вес добавляемых ребер	Значение показателя рациональности	Суммарная длина пути
1	—	—	5241	45
2	{e5}	11	5241	56
3	{e9}	21	4675	66
4	{e8}	31	5241	76
5	{e5, e9}	32	4675	77
6	{e5, e8}	42	5241	87
7	{e8, e9}	52	4675	97
8	{e5, e8, e9}	63	4675	108

Таким образом, решением задачи векторной оптимизации (6) при условиях (1), (3) для рассматриваемого примера является вариант 1 и вариант 3 из табл. 4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Структуры данных и алгоритмы. — М.: Издательство Вильямс, 2001. — 384 с.

2. Дж. Андерсон. Дискретная математика и комбинаторика.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 960 с.
3. Говорухин В., Цибулин В. Компьютер в математическом исследовании. Учебный курс. — СПб.: Питер, 2001. — 624 с.
4. Босов А. А. О Парето оптимальных решениях задач векторной оптимизации. / Босов А. А., Скалозуб В. В. // Диференціальні рівняння та їх застосування. — Д.: ДДУ, 1998. — С. 66–70.

Поступила в редколлегию 20.11.2006.

МНОГОМЕСТНЫЕ ФУНКЦИИ МНОЖЕСТВ

Введены многоместные функции множества и даны некоторые их применения.

Введені багатомісні функції множини і дані деякі їх застосування.

The entered multi-seater functions of great number and information are some their applications.

Во многих инженерных и экономических задачах естественным является использование функций множеств, потому что могут быть измерены те показатели, которые в математическом плане представляет собой функции множества [1].

Пусть граф $G(V, E)$ является математической моделью сети железных дорог, где V – перечень, а E – перечень путей между городами (дуги графа). Каждая дуга $e \in E$ имеет длину $l(e)$ и заданы грузопотоки и пассажиропотоки между городами. Возникает задача разбиения графа $G(V, E)$ на три графа $G_r(V_r, E_r)$, $G_n(V_n, E_n)$, $G_{rn}(V_{rn}, E_{rn})$, которые описывали бы три разбиения сети железных дорог для чисто грузовых, пассажирских перевозок и совместного использования.

Насколько удачно выполнено разбиение будем оценивать следующими показателями:

- временем доставки грузов;
- временем доставки пассажиров;
- затратами на содержание в работоспособном состоянии соответствующих сетей.

Очевидно, что перечисленные показатели являются функциями множеств $V_r, E_r, V_n, E_n, V_{rn}, E_{rn}$, что приводит к изучению многоместных функций множеств, которые будем записывать в виде $F(A_1, A_2, \dots, A_n)$.

В рассмотренном примере, например, затраты на содержание в работоспособном состоянии сети z , представляют собой многоместную (шестиместную) функцию

$$z = F(V_r, E_r, V_n, E_n, V_{rn}, E_{rn}).$$

Целью данной работы является рассмотрение основ исчисления многоместных функций множества.

В общем случае, когда рассматривается функция $F(A_1, A_2, \dots, A_n)$, природа (инженерно-экономический смысл) множеств $A_1, A_2, \dots, A_n$ может быть произвольной, но фиксированной.

Последнее означает, что рассматриваются множества $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$, множества $A_1, A_2, \dots, A_n$ являются подмножествами соответствующих исходных множеств $\Omega_i, i = \overline{1, n}$.

Введем классы подмножеств $\mathfrak{A}(\Omega)$, $\mathfrak{A}(\Omega_1), \dots, \mathfrak{A}(\Omega_n)$, относительно которых будем предполагать, что каждый из перечисленных классов является как минимум кольцом, т. е., если A_i и B_i принадлежат $\mathfrak{A}(\Omega_i)$, то их объединение $A_i \cup B_i$ и разность $A_i \setminus B_i$ также принадлежат этому кольцу.

Определение 1. Отображение классов $\{\mathfrak{A}(\Omega), \mathfrak{A}(\Omega_1), \dots, \mathfrak{A}(\Omega_n)\}$ на действительную ось будем называть многоместной функцией множеств и обозначать через $F(A_1, A_2, \dots, A_n)$.

На каждом классе $\mathfrak{A}(\Omega_i)$ определим свою меру $\mu_i(A_i)$, обладающую следующими свойствами:

1. $\forall A_i \in \mathfrak{A}(\Omega_i) \rightarrow \mu_i(A_i) \geq 0$ и если $\mu_i(A_i) = 0$, то $A_i \neq \emptyset$.
2. $\forall A_i, B_i \in \mathfrak{A}(\Omega_i) \rightarrow \mu_i(A_i \cup B_i) = \mu_i(A_i) + \mu_i(B_i) - \mu_i(A_i \cap B_i)$

Определение 2. Если $\{A_{in}\}, n = 1, 2, \dots$ последовательность множеств $\mathfrak{A}(\Omega_i)$, то множество A_i будем называть предельным множеством данной последовательности, если имеет место

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mu_i(A_{in} \Delta A_i) = 0, \quad (1)$$

где Δ – операция симметричной разности двух множеств.

Заметим, что множество A_i можно определить и как предел по Э. Борелю, т. е. вводятся два множества $\bar{A}_i$ и $\underline{A}_i$, которые определяются следующим образом:

– если $\omega \in \bar{A}_i$, то ω принадлежит бесконечному числу множеств из последовательности $\{A_{in}\}$;

– если $\omega \in \underline{A}_i$, то можно указать такой номер $n(\omega)$, что для $n > n(\omega)$ элемент ω принадлежит всем A_{in} , тогда если $\underline{A}_i = \bar{A}_i$, то $A_i^* = \underline{A}_i = \bar{A}_i$ называется пределом по Борелю.

Теорема 1. Если существует предел по Э. Борелю и имеет место (1), то $A_i^* = A_i$.

Доказательство. Пусть $\omega \in A_i^*$, но $\omega \notin A_i$, то-

гда $\mu_i(A_{in} \Delta A_i) \geq \mu_i(\omega) > 0$, что противоречит (1). Следовательно, $\omega \in A_i$ и тем самым $A_{i*} \subseteq A_i$. Если же $\omega \in A_i$, то в силу (1) можно указать такой номер $n(\omega)$, что $\omega \in A_{in}$ при $n > n(\omega)$, но это означает, что $\omega \in A_i$, а так как $A_i = A_{i*}$, то получаем $A_i \subseteq A_{i*}$, что и доказывает теорему.

Следствие. Понятие предела последовательности множеств является инвариантным относительно меры, удовлетворяющей условиям определения 1.

Определение 3. Многочестная функция множеств $F(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$ непрерывна по множеству A_i , если имеет место

$$\lim_{k \rightarrow \infty} F(A_1, A_2, \dots, A_{ik}, \dots, A_n) = F(A_1, A_2, \dots, \lim A_{ik}, \dots, A_n)$$

на любой последовательности A_{ik} , сходящейся к A_i .

Из этого определения следует, что понятие непрерывности является свойством функции и не зависит от меры. Однако, если $\mu_i(A_*) \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$, а $A_k \rightarrow \emptyset$, то непрерывность может быть сформулирована следующим образом:

Если для любого $\varepsilon > 0$ можно указать такое $\delta(\varepsilon)$, то тогда из неравенства $\mu_i(A_i' \Delta A_i'') < \delta(\varepsilon)$ следует

$$|F(A_1, A_2, \dots, A_i', \dots, A_n) - F(A_1, A_2, \dots, A_i'', \dots, A_n)| < \varepsilon.$$

Пусть последовательность множеств $\{A_{ik}\}$ сходится к множеству A_i и введем в рассмотрение последовательность чисел

$$a_{ik} = \frac{F(A_1, A_2, \dots, A_{ik}, \dots, A_n) - F(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)}{\mu_i(A_{ik} \Delta A_i) - \mu(A_i)}$$

Определение 4. Если существует предел чисел a_{ik} при $k \rightarrow \infty$, то этот предел будем называть частной производной от многочестной функции F по мере μ_i на последовательности $\{A_{ik}\}$ и записывать следующим образом

$$\frac{\partial F}{\partial \mu_i} \Big|_{\{A_{ik}\}} \triangleq \lim_{k \rightarrow \infty} a_{ik}.$$

Замечание. Если F одноместная функция множества, то частную производную (2) будем называть просто производной от $F(A)$ по мере μ на последовательности $\{A_k\}$.

Теорема 2. Если $F(A) \leq F'(A)$ для любого $A' \in \mathfrak{A}(\Omega)$ и существует производная на последовательности $\{A_k\}$, такой, что $A_k \subseteq A$ и $\lim_{k \rightarrow \infty} A_k = B$, то имеет место

$$\frac{dF(A)}{d\mu_i} \Big|_{\{A_k\} \rightarrow B \subset A} \leq 0.$$

Доказательство. Рассмотрим отношение

$$\frac{F(A_k \Delta A) - F(A)}{\mu(A_k \Delta A) - \mu(A)} = \frac{F(A_k \Delta A) - F(A)}{-\mu(A_k)} \leq 0. \quad (3)$$

Так как $\mu(A_k) > 0$, а $F(A_k \Delta A) - F(A) \geq 0$ по условию теоремы. Устремляя $k \rightarrow \infty$ приходим к неравенству (3). Данной теореме в предположении непрерывности $\mu(A)$ и $F(A)$ можно придать следующую форму

$$\frac{dF(A)}{d\mu} \Big|_{\{A_k\} \rightarrow B} = \frac{F(A \Delta B) - F(A)}{\mu(A \Delta B) - \mu(A)},$$

которую можно использовать для нахождения множества A .

Пример 1. Пусть

$$F(A) = \int_A f(x) \mu(dx),$$

где интеграл принимается в смысле Лебега по введенной мере μ . В этом случае имеем

$$\frac{dF(A)}{d\mu} \Big|_{\{A_k\} \rightarrow B} = \frac{F(B) - 2F(A \cap B)}{\mu(B) - 2\mu(A \cap B)}.$$

Если $B \subseteq A$, то

$$\frac{dF(A)}{d\mu} \Big|_{\{A_k\} \rightarrow B \subset A} = \frac{\int_B f(x) \mu(dx)}{\mu(B)}.$$

Теперь предположим, что B является одноточечным множеством $\{x\}$, тогда приходим к соотношению

$$\frac{dF(A)}{d\mu} \Big|_{\{A_n\} \rightarrow \{x\} \subset A} = \frac{f(x) \cdot \mu(x)}{\mu(x)} = f(x),$$

откуда с необходимостью приходим к определению множества A в виде

$$A = \{x \in \Omega : f(x) \leq 0\}. \quad (4)$$

Данный результат очевиден, но метод его получения применим и в случае, когда Ω является дискретным множеством, а $F(A)$ представляема следующим образом

$$F(A) = \sum_{x \in A} f(x).$$

В этом случае

$$\frac{dF(A)}{d\mu} \Big|_{\{A_n\} \rightarrow \{x\} \subset A} = \frac{f(x)}{\mu(x)}$$

и с учетом того, что $\mu(x) > 0$, приходим к соотношению (4).

Пример 2. Пусть $F(A)$ определяется формулой

$$F(A) = \int_A f_1(x) dx + \int_{\Omega \setminus A} f_2(x) dx,$$

тогда с учетом (4) множество A , доставляющее минимум функции $F(A)$ с необходимостью имеет вид

$$A = \{x \in \Omega : f_1(x) - f_2(x) \leq 0\}.$$

Данное представление следует из того, что $F(A)$ можно записать в виде

$$F(A) = \int_A (f_1(x) - f_2(x)) dx + \int_{\Omega} f_2(x) dx$$

и так как Ω фиксированное множество, то можно ограничиться рассмотрением функции

$$\tilde{F}(A) = \int_A (f_1(x) - f_2(x)) dx,$$

которая от $F(A)$ отличается на постоянное слагаемое $\int_{\Omega} f_2(x) dx$.

Пример 3. Пусть множество Ω разбито на три подмножества A_1, A_2, A_3 так, что $A_i \cap A_j = \emptyset$, если $i \neq j$ и $A_1 \cup A_2 \cup A_3 = \Omega$. Рассматривается трехместная функция множеств

$$F(A_1, A_2, A_3) = F_1(A_1) + F_2(A_2) + F_3(A_3).$$

Необходимо найти такое разбиение множества Ω , чтобы данная функция принимала минимальное значение.

Если на множества A_1, A_2, A_3 не наложено никаких ограничений, то с необходимостью должно иметь место

$$\left. \frac{dF(A_1, A_2, A_3)}{d\mu_i} \right|_{\{B_k\} \rightarrow \{B_i\} \subset A_i} \leq 0, i = \overline{1, 3},$$

что следует из определения (2).

В нашем случае $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega_3 = \Omega$ и $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$. С учетом условия $A_1 \cup A_2 \cup A_3 = \Omega$ на последовательность множеств $B_k \in \mathcal{A}(\Omega)$, $k = 1, 2, \dots$ наложим требование, что все $B_k \subseteq A_1$ и так как $(A_1 \Delta B_k) \cup (A_2 \Delta B_k) \cup A_3 = \Omega$ имеем последовательность чисел

$$a_k = \frac{F(A_1 \Delta B_k, A_2 \Delta B_k, A_3) - F(A_1, A_2, A_3)}{\mu(A_1 \Delta B_k) - \mu(A_1)}.$$

Если эта последовательность имеет предел, то его естественно назвать условной частной производной, и в рассматриваемом случае получаем

$$\lim_{k \rightarrow \infty} a_k =$$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{F_1(A_1 \Delta B_k) - F_1(A_1) + F_2(A_2 \Delta B_k) - F_2(A_2)}{\mu(A_1 \Delta B_k) - \mu(A_1)}.$$

Чтобы продвинуться далее будем предполагать аддитивность функций

$$\lim_{k \rightarrow \infty} a_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{-F_1(B_k) - F_2(B_k)}{-\mu(B_k)} = \frac{F_1(B) - F_2(B)}{\mu(B)},$$

где $B = \lim_{k \rightarrow \infty} B_k$.

Если $B = \{x\}$, то имеем

$$A_1 \subset \{x \in \Omega : (F_1(\{x\}) - F_2(\{x\})) / \mu(\{x\}) \leq 0\}.$$

Аналогично получаем, что

$$A_1 \subset \{x \in \Omega : (F_1(\{x\}) - F_3(\{x\})) / \mu(\{x\}) \leq 0\}.$$

Следовательно, в качестве A_1 можно взять

$$A_1 = \{x \in \Omega : F_1(\{x\}) - F_2(\{x\}),$$

$$F_1(\{x\}) - F_3(\{x\}) \leq 0\},$$

т. к. $\mu(\{x\}) > 0$, а множества A_2 и A_3 будут следующими

$$A_2 = \{x \in \Omega : F_2(\{x\}) - F_1(\{x\}) \leq 0,$$

$$F_2(\{x\}) - F_3(\{x\}) \leq 0\};$$

$$A_3 = \{x \in \Omega : F_3(\{x\}) - F_1(\{x\}) \leq 0,$$

$$F_3(\{x\}) - F_2(\{x\}) \leq 0\}.$$

Пусть

$$F_i(A_i) = \int_{A_i} f_i(x) \mu(dx),$$

где интеграл понимается в смысле Лебега-Стальтьеса, тогда

$$A_1 = \{x \in \Omega : f_1(x) - f_2(x); f_1(x) - f_3(x) \leq 0\};$$

$$A_2 = \{x \in \Omega : f_2(x) - f_1(x); f_2(x) - f_3(x) \leq 0\};$$

$$A_3 = \{x \in \Omega : f_3(x) - f_1(x); f_3(x) - f_2(x) \leq 0\}.$$

Заметим, что в рассмотренных примерах использовались простейшие правила дифференцирования функций множества [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебег А. Интегрирование и отыскание примитивных функций. – М. - Л., Гостехиздат, 1934. – 342 с.
2. Босов А. А. Функции множества и их применение. – Днепропетровск: Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.

Поступила в редколлегию 19.03.2007 г.

ОБОБЩЕНИЕ «ВЕЛИКОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА» НА СУММУ СТЕПЕНЕЙ НЕЗАВИСИМЫХ И НЕОДИНАКОВЫХ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ

У роботі узагальнюється «велика теорема Ферма» для суми будь-якого числа складових ступенів цілих чисел.

В работе обобщается «великая теорема Ферма» для суммы любого числа слагаемых степеней целых чисел.

«The great theorem the Pherma» for the sum of any number of composed extents of integers is in-process generalized.

Физическая интерпретация «великой теоремы Ферма» для уравнения третьей степени означающая, что двум однопараметрическим телам (шара, куба, тетраэдра, додекаэдра и икосаэдра) рационального размера не существует эквивалентного по объему тела рационального размера, вызывает некоторое беспокойство. Оно усиливается еще и тем, что линия прямоугольных треугольников с целочисленными сторонами образует бесконечное счетное множество. Известно, что катеты этих треугольников являются двумя функциями одного целого числа:

$$a = 2k + 1, \quad b = k(k + 1),$$

а гипотенуза: $c = b + 1$ фактически задает единицу длины поскольку она на единицу длиннее большего из катетов.

В качестве «спасительной идеи» разумно предположить, что добавление некоего четвертого куба снимает проблему иррационального размера эквивалентного тела и она вариационным способом была проверена в 2002-ом году академиком А. А. Босовым... Оказалось, что (в пределах возможности современного ПК) искомого дополнения не обнаруживается. То, что ограничение решения теоремы Ферма для квадратов целых чисел объясняется всего лишь зависимостью катетов, заставляет предположить справедливость утверждения невозможности решения диофантова уравнения в целых числах:

$$\sum_1^n X_i^r = Y^r \quad (1)$$

так что при $n = 2$ в (1) имеем формулировку «великой теоремы Ферма» с той разницей, что целая степень обозначена нетрадиционной буквой. Таким образом расширение счетного множества действительных чисел до множества несчетного происходит вследствие возведения в целочисленную степень.

Для определенности положим еще, что:
 $x_i > x_{i-1} > 0$

$$\sum_1^n X_i^r = (x_n + \delta)^r \quad (2)$$

такое представление корня уравнения (1) позволяет, к тому же, раскрыть его структуру по отношению к сумме чисел в левой части:

$$\sum_n^{n-1} X_i^r = \delta^r + \sum_1^{r-1} C_r^i x_n^i \delta^{r-i}. \quad (3)$$

Теперь необходимо выяснить при каких условиях «смещение» δ может быть целым числом. Так как в уравнении (3) все коэффициенты целые, δ должно быть кратно свободному члену:

$$\sum_1^{n-1} X_i^r = k\delta$$

и равно частному от деления на целое число k :

$$\delta = \frac{\sum_1^{n-1} x_i^r}{k}$$

так что, после подстановки в (3) получаем уравнение степени $r - 1$ с новым свободным членом:

$$\sum_1^r C_r^i x_n^i \delta^{r-i} = (k - r x_n^{r-1}) \delta \quad (4)$$

также кратным целому числу m :

$$m = \frac{k - r x_n^{r-1}}{\delta} \quad (5)$$

степень уравнения (3) уменьшилась на два в результате введения двух множителей так что:

$$\delta^{r-2} - \sum_2^{r-1} C_r^i x_n^i \delta^{r-i} = A_1 \delta$$

в котором свободный член равен:

$$A_1 = \frac{m - C_2^{r-1} x_n}{\delta}.$$

Последовательно вводя значения свободных членов, получаем уравнение для δ :

$$\delta = \frac{m^{r-2}}{(k - r x_n^{r-i})^{r-3}} - \sum_2^{r-1} C_r^{r-i} m^{r-i} \frac{x_n^{i-1}}{k - r x_n^{r-1}}$$

и подставляя его значение, выраженное в k и m , получаем необходимое для анализа уравнение множителя m :

$$m = \frac{1}{\frac{1}{\delta^{r-r}} \left[1 - \sum_2^{r-1} C_r^{r-i} \delta^{i-1} \frac{x_n^{r-i}}{k - r x_n^{r-1}} \right]}. \quad (6)$$

Целочисленные значения m возможны лишь в случае чистой дроби в знаменателе (6), или при кратном ее числителю числителю (6). Первое условие удовлетворяется при:

$$k - r x_n^{r-1} - \sum_2^{r-1} C_r^{r-i} \delta^{i-1} x_n^{r-i} - 1 = 0$$

т. е. чтобы выполнялось равенство:

$$\sum_1^n x_i^r - r \delta x_n^{r-1} - \sum_2^{r-1} C_r^{r-i} \delta^i x_n^{r-i} \delta = 0.$$

Из него следует уравнение:

$$r - x_n^{r-1} (x_n - 1) + \delta^{r-2} (\delta - 1) = 0$$

после приведения подобных членов в котором получаем условие получения целочисленных значений m :

$$x_n = 1; \quad \delta = 1 \text{ или } \delta = 1, 2, 3 \dots \sum_1^n x_i = (1 + \delta)^r.$$

Это означает, что слагаемые степени r равны 1, а их сумма равна числу $n = (2)^r$. Итак, целочисленные значения m возможны лишь в случае суммирования в (2) одинаковых (зависимых) величин, число которых является степенью r .

Пример. Пусть имеем четыре числа 2; 3; 6; 7, сумма пятых степеней которых равна 24 858. Соответственно, корень пятой степени из суммы равен 7,5697539..., следовательно $\delta = 0,5697539$, а $k = 3783,4359$... Так что

$$m = 575,10843 \dots \sum_1^{n-1} x_i^5 = 8051; \quad k = 14130,562 \dots$$

Исполняя (6) получаем это же число. Положив, что сумма пятых степеней равна 32, имеем $d = 1$; $m \equiv 3731$, что согласуется с (6).

В связи с изложенным, формулировка «великой теоремы Ферма» становится более общей: **сумма любого числа независимых целых чисел в любой целой степени не может быть представлена одним целым числом в той же степени.**

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лошкарев Н. А. «Попытка реконструкции доказательства П. Ферма «великой теоремы Феама» // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, – 2007. – Вип. 15. – С. 61–63.

Поступила в редколлегию 22.02.2007.

АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ НА ДВА В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Розглянуто метод розв'язання задачі ділення на два чисел у системі залишкових класів. Метод алгоритмічно простий та нескладний для схемної реалізації при створенні ефективних обчислювальних структур.

Рассмотрен метод решения задачи деления на два чисел в системе остаточных классов. Метод алгоритмически прост и несложен для схемной реализации при создании эффективных вычислительных структур.

The method of solving problem of division on two for numbers in residue class system are observed. The method is algorithmically simple and not complicated to scheme realization for making of effective computing's structures.

Введение

Применение непозиционной системы остаточных классов (СОК) [1] открыло новые возможности повышения производительности вычислительных структур и надежности вычислений. По данным руководителя научной школы в Украине проф. М. В. Синькова [2] СОК «...нашла воплощение в серийных универсальных ЭВМ и многих оригинальных разработках. К ним относятся работы по созданию универсальной ЭВМ в институте дальней радиосвязи, бортовых специализированных ЭВМ, созданных на авиационных предприятиях, специализированных моделирующих устройств, разработанных в Ленинградской военной Академии». Достоинства СОК заключаются [2], [3] в высокой степени параллелизма при выполнении арифметических операций сложения, вычитания и умножения. Несколько сложнее обстоят дела при реализации немодульных операций, требующих знания всего числа в целом, к которым относится операция деления числа на два.

Постановка задачи

При изложении статьи будем использовать определения и обозначения, приведенные в [4]. Таким образом, СОК называется система счисления, в которой произвольное число N представляется в виде набора наименьших неотрицательных остатков по модулям $m_1, m_2, \dots, m_n$, т. е.

$$N = [N(\bmod m_1), N(\bmod m_2), \dots, N(\bmod m_n)]$$

или

$$N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n). \quad (1)$$

Здесь $\alpha_i = N(\bmod m_i)$. При этом, если числа m_i взаимно простые, то представление числа

N в виде (1) является единственным, а объем диапазона $[0, M)$ представимых чисел в этом случае равен

$$M = m_1 m_2 \dots m_n. \quad (2)$$

В дальнейшем рассматриваются числа вида (1), для которых один из модулей $m_n = 2$.

Будем отличать числа, большие $M/2$ и меньшие $M/2$. При этом, если $0 \leq N < M/2$, то N — число первой половины. Если же $\frac{M}{2} \leq N < M$, то N — число второй половины.

Пусть в системе с основаниями $m_1, m_2, \dots, m_n = 2$ даны два числа $N_1 = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ и $N_2 = 2 = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ и пусть $E = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ — частное от деления N_1 на N_2 . Тогда, если деление точно выполнимо, т. е. N_1 кратно N_2 , то E принадлежит первой половине. При этом все остатки частного, кроме остатка по модулю m_n , определяются формальным делением остатков α_i на остатки β_i . Для модуля m_n имеем неопределенность $\frac{0}{0}$, которую требуется раскрыть.

Основная часть

Пусть системой оснований полиадического кода также является система $m_1, m_2, \dots, m_n = 2$. Тогда число E в полиадическом коде представляется следующим образом

$$E = \pi_1 + \pi_2 m_1 + \pi_3 m_1 m_2 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \\ + \dots + \pi_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2} + \pi_n m_1 m_2 \dots m_{n-1},$$

где $0 < \pi_i \leq m_i - 1$.

Пусть

$$E_1 = \pi_1 + \pi_2 m_1 + \pi_3 m_1 m_2 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2}. \quad (3)$$

Число

$$0 \leq \pi_1 + \pi_2 m_1 + \pi_3 m_1 m_2 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2} < \frac{M}{2},$$

т. е. является числом первой половины. Поэтому задача нахождения ε_n сводится, таким образом, к определению четности числа E_1

$$\varepsilon_n = \begin{cases} 0, & E_1 \text{ четное,} \\ 1, & E_1 \text{ нечетное.} \end{cases} \quad (4)$$

Поскольку все модули (3) нечетные, четность E_1 определяется значением

$$I = \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_{n-1}, \\ I = (\varepsilon_n).$$

Следовательно, метод базируется на получении значения π_i и подсуммировании его к ε_n^{i-1} . При этом $\varepsilon_n^i = 0$, $i = 0$.

Получение π_i осуществляется итеративным путем, при котором на i -й итерации находится π_i и рассчитывается $E_1^i = E_1^{i-1} - \Delta^i$, где

$$\Delta^i = \pi_1 m_1 m_2 \dots m_{i-1}.$$

Перепишем (3) в виде

$$E_1 = \pi_1 + m_1 (\pi_2 + m_2 (\pi_3 + \dots + m_{i-1} (\pi_i + \dots + m_{n-2} \pi_{n-1})))$$

Тогда

$$\pi_1 = E_1 \pmod{m_1} = \varepsilon_1$$

и

$$\Delta^1 = \pi_1 = \varepsilon_1,$$

$$s^1 = \pi_1 = \varepsilon_1.$$

Получаем

$$E_1^1 = E_1 - \Delta^1 = m_1 (\pi_2 + m_2 (\pi_3 + \dots + m_{i-1} (\pi_i + \dots + m_{n-2} \pi_{n-1})))$$

$$I^1 = I + s^1$$

и

$$E_1^1 = (\varepsilon_1^1, \varepsilon_2^1, \dots, \varepsilon_{n-1}^1),$$

$$I^1 = (\varepsilon_n^1).$$

При этом $\varepsilon_1^1 = \varepsilon_1 - \Delta_1^1$, $\varepsilon_2^1 = \varepsilon_2 - \Delta_2^1, \dots$, $\varepsilon_{n-1}^1 = \varepsilon_{n-1} - \Delta_{n-1}^1$, $\varepsilon_n^1 = 0 + s_n^1$,

где

$$\Delta_1^1 = \pi_1 \pmod{m_1} = \varepsilon_1, \quad \Delta_2^1 = \pi_1 \pmod{m_2},$$

$$\Delta_3^1 = \pi_1 \pmod{m_3}, \dots, \Delta_i^1 = \pi_1 \pmod{m_i}, \dots,$$

$$\Delta_{n-1}^1 = \pi_1 \pmod{m_{n-1}}$$

и

$$s_n^1 = \pi_1 \pmod{m_n}.$$

Таким образом, результат первой итерации

$$E_1^1 = (0, \varepsilon_2^1, \dots, \varepsilon_{n-1}^1),$$

$$I^1 = (\varepsilon_n^1).$$

На второй итерации выполняется деление E_1^1 на m_1 с сокращением объема рабочего диапазона в m_1 раз. Получаем

$$\bar{E}_1^2 = \frac{E_1^1}{m_1} = \pi_2 + m_2 (\pi_3 + \dots + m_{i-1} (\pi_i + \dots + m_{n-2} \pi_{n-1})).$$

При этом

$$\delta_2^2 = \left(\frac{\varepsilon_2^1}{m_1} \right) \pmod{m_2}, \quad \delta_3^2 = \left(\frac{\varepsilon_3^1}{m_1} \right) \pmod{m_3}, \dots,$$

$$\delta_i^2 = \left(\frac{\varepsilon_i^1}{m_1} \right) \pmod{m_i}, \quad \dots,$$

$$\delta_{n-1}^2 = \left(\frac{\varepsilon_{n-1}^1}{m_1} \right) \pmod{m_{n-1}}$$

и

$$\Delta^2 = \pi_2 = \delta_2^2, \quad s^2 = \pi_2 = \delta_2^2.$$

Далее на этой же итерации выполняем

$$E_1^2 = \bar{E}_1^2 - \Delta^2$$

и

$$I^2 = I^1 + s^2.$$

Получаем

$$E_1^2 = m_2(\pi_3 + \dots + m_{i-1}(\pi_i + \dots + m_{n-2}\pi_{n-1}))$$

и

$$E_1^2 = (\varepsilon_2^2, \dots, \varepsilon_{n-1}^2), \quad I^2 = (\varepsilon_n^2).$$

При этом

$$\varepsilon_2^2 = \delta_2^2 - \Delta_2^2, \dots, \varepsilon_{n-1}^2 = \delta_{n-1}^2 - \Delta_{n-1}^2, \varepsilon_n^2 = \varepsilon_n^1 + s_n^2,$$

где

$$\Delta_2^2 = \delta_2^2, \quad \Delta_3^2 = \pi_2 \pmod{m_3}, \dots, \\ \Delta_i^2 = \pi_2 \pmod{m_i}, \dots, \Delta_{n-1}^2 = \pi_2 \pmod{m_{n-1}}$$

и

$$s_n^2 = \pi_2 \pmod{m_n}.$$

Таким образом, результат второй итерации

$$E_1^2 = (0, \varepsilon_3^2, \dots, \varepsilon_{n-1}^2), \quad I^2 = (\varepsilon_n^2).$$

После выполнения аналогичных действий на каждой итерации получаем последовательно $\pi_3, \dots, \pi_i, \dots, \pi_{n-1}$. Результат $(n-1)$ -ой итерации $E_1^{n-1} = \varepsilon_{n-1}^{n-1} = 0$,

$$I^{n-1} = (\varepsilon_n^{n-1}) = (\varepsilon_n).$$

Проиллюстрируем изложенное на примере для системы модулей $m_1 = 5$, $m_2 = 7$, $m_3 = 3$, $m_4 = 11$, $m_5 = 2$. Диапазон чисел $0 \dots 2309$. Делимое $N_1 = 1846 = (1, 5, 1, 9, 0)$, делитель $N_2 = 2 = (2, 2, 2, 2, 0)$.

Результат формального деления

$$E = \left(\varepsilon_1 = 3, \varepsilon_2 = 6, \varepsilon_3 = 2, \varepsilon_4 = 10, \varepsilon_5 = \frac{0}{0} \right)$$

Индикаторное число $I = 0$.

На первой итерации

$$\pi_1 = 3,$$

$$\Delta_1^1 = 3,$$

$$s^1 = 3,$$

$$\Delta_1^1 = 3,$$

$$\Delta_2^1 = 3 \pmod{7} = 3,$$

$$\Delta_3^1 = 3 \pmod{3} = 0,$$

$$\Delta_4^1 = 3 \pmod{11} = 3,$$

$$s_5^1 = 3 \pmod{2} = 1$$

$$\varepsilon_1^1 = 0,$$

$$\varepsilon_2^1 = 3,$$

$$\varepsilon_3^1 = 2,$$

$$\varepsilon_4^1 = 7,$$

$$\varepsilon_5^1 = 1,$$

$$E_1^1 = (0, 3, 2, 7),$$

$$I^1 = (1).$$

На второй итерации

$$\delta_2^2 = \left(\frac{3}{5} \right) \pmod{7} = 2, \quad \delta_3^2 = \left(\frac{2}{5} \right) \pmod{3} = 1,$$

$$\delta_4^2 = \left(\frac{7}{5} \right) \pmod{11} = 8$$

и

$$E_{1,i}^2 = (2, 1, 8).$$

Далее

$$\pi_2 = \delta_2^2 = 2,$$

$$\Delta^2 = 2$$

$$s^2 = 2,$$

$$\Delta_2^2 = 2,$$

$$\Delta_3^2 = 2 \pmod{3} = 2,$$

$$\Delta_4^2 = 2 \pmod{11} = 2,$$

$$s_5^2 = 2 \pmod{2} = 0$$

и

$$\varepsilon_2^2 = 0,$$

$$\varepsilon_3^2 = 2,$$

$$\varepsilon_4^2 = 6,$$

$$\varepsilon_5^2 = 1,$$

$$E_1^2 = (0, 2, 6),$$

$$I^2 = 1.$$

На третьей итерации

$$\delta_3^3 = \left(\frac{2}{7} \right) \pmod{3} = 2, \quad \delta_4^3 = \left(\frac{6}{7} \right) \pmod{11} = 4$$

и

$$E_{1,i}^3 = (2, 4).$$

Далее

и

$$\begin{aligned}\pi_3 &= \delta_3^3 = 2, \\ \Delta^3 &= 2 \\ s^3 &= 2, \\ \Delta_3^3 &= 2, \\ \Delta_4^3 &= 2(\bmod 11) = 2, \\ s_5^3 &= 2(\bmod 2) = 0\end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned}\varepsilon_3^3 &= 0, \\ \varepsilon_4^3 &= 2, \\ E_1^3 &= (0, 2), \\ I^3 &= 1.\end{aligned}$$

На четвертой итерации

$$\delta_4^4 = \left(\frac{2}{3}\right)(\bmod 11) = 8$$

и

$$E_{1,4}^4 = (8).$$

Далее

$$\begin{aligned}\pi_4 &= \delta_4^4 = 8, \\ \Delta^4 &= 8, \\ s^4 &= 8, \\ \Delta_4^4 &= 8(\bmod 11) = 8, \\ s_5^4 &= 8(\bmod 2) = 0\end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned}\varepsilon_4^4 &= 0, \\ E_1^4 &= (0), \\ I^4 &= 1.\end{aligned}$$

Поскольку $I^4 = 1$, то число $E_1 = (3, 6, 2, 10)$ нечетное. Следовательно, $\varepsilon_5 = 1$.

Таким образом, результат деления

$$E = 923 = (3, 6, 2, 10, 1).$$

Процедуру определения ε_5 можно упростить, выполняя на каждой итерации лишь операции вычитания путем простой выборки констант из соответствующих таблиц. С этой целью необходимо предварительно для принятой системы модулей и выбранного их упорядочения рассчитать в соответствии с приведенными выше зависимостями для каждого значения ε_i^{i-1}

константы $\Delta_{i+1}^i, \Delta_{i+2}^i, \dots, \Delta_n^i$, которые следует вычитать из остатков $\varepsilon_{i+1}^{i-1}, \varepsilon_{i+2}^{i-1}, \dots, \varepsilon_{n-1}^{i-1}$ и добавлять к ε_n^{i-1} на i -й итерации. Тогда на каждой итерации будет выполняться лишь операция вычитания для все сокращающегося количества остатков.

В качестве примера выполним для той же системы модулей деление $N_1 = 1846 = (1, 5, 1, 9, 0)$ на $N_1 = 2 = (2, 2, 2, 2, 0)$ с помощью вычитания констант из соответствующих таблиц.

$$E = \left(\varepsilon_1 = 3, \varepsilon_2 = 6, \varepsilon_3 = 2, \varepsilon_4 = 10, \varepsilon_5 = \frac{0}{0} \right).$$

Индикаторное число $I = 0$.

На первой итерации для $\varepsilon_1 = 3$ выбираем из табл. 1 $\Delta_2^1 = 3$, $\Delta_3^1 = 0$, $\Delta_4^1 = 3$, $s_5^1 = 1$ и получаем $E_1^1 = (0, 3, 2, 7)$, $I^1 = (1)$.

Таблица 1

Остатки для mod	Константы для mod				
$m_1=5$	$m_2=7$	$m_3=3$	$m_4=11$	$m_5=2$	
0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	
2	2	2	2	0	
3	3	0	3	1	
4	4	1	4	0	

На второй итерации для $\varepsilon_2 = 3$ выбираем из табл. 2 $\Delta_3^2 = 1$, $\Delta_4^2 = 10$, $s_5^2 = 0$ и получаем $E^2 = (0, 1, 8)$, $I^2 = (1)$.

Таблица 2

Остатки для mod	Константы для mod		
$m_2 = 7$	$m_3 = 3$	$m_4 = 11$	$m_5 = 2$
0	0	0	0
1	0	4	1
2	0	8	0
3	1	10	0
4	1	3	1
5	2	5	1
6	2	9	0

На третьей итерации для $\varepsilon_3 = 1$ выбираем из табл. 3 $\Delta_4^3 = 4$, $s_5^3 = 0$ и получаем $E^3 = (0, 4)$, $I^3 = (1)$.

Таблица 3

Остатки для mod	Константы для mod	
$m_3 = 3$	$m_4 = 11$	$m_5 = 2$
0	0	0
1	2	1
2	4	0

На четвертой итерации для $\varepsilon_4 = 4$ выбираем из табл. 4 $s_5^4 = 0$ и получаем $E^4 = (0)$, $I^4 = (1)$.

Таблица 4

Остатки для mod	Константы для mod
$m_4 = 11$	$m_5 = 2$
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1

Поскольку $I^4 = (1)$, то действительное значение $\varepsilon_5 = 1$. Следовательно, результат деления $E = 923 = (3, 6, 2, 10, 1)$.

Таким образом, рассмотрено решение задачи деления на два числа, представленного в системе остаточных классов. Метод решения базируется на определении четности числа, определяемого остатками частного по остальным модулям системы. Такое определение выполняют последовательным вычитанием констант из полученных приведенных остатков частного. При этом константы на каждой итерации выбираются в зависимости от значения остатка, полученного на предыдущей итерации. Предложенный метод имеет высокое быстродействие и позволяет повысить производительность вычислительных структур и надежность вычислений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акушский И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий - М.: Советское радио, 1968. - 440 с.
2. Синьков М. В. Нетрадиционная система остаточных классов и ее основоположник И. Я. Акушский / М. В. Синьков, Т. В. Синькова, А. В. Федоренко, А. А. Чапор - Сайт <http://www.isfcst.kiev.ua>, 2001.
3. Червяков Н. И. Методы и принципы построения модулярных нейрокомпьютеров. Сайт <http://www.computer-museum.ru>, 2005
4. Полисский Ю. Д. О выполнении сложных операций в системе остаточных классов // Электронное моделирование. - 2006. - Т.28. - № 3. - С. 117-123.

Поступила в редколлегию 09.02.07.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ВІДЧЕПІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Виконано дослідження процесу скочування відчепів в умовах дії випадкових факторів. Визначені характеристики розподілу випадкової величини скочування відчепів.

Выполнены исследования процесса скатывания отцепов в условиях действия случайных факторов. Определены характеристики распределения случайной величины времени скатывания отцепов.

There have been executed the researches of process of cuts rolling in the conditions of the action of random factors. There have also been determined the characteristics of the distribution of the random value of time of cuts rolling.

Показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від вибору режимів розпуску составів. Удосконалення управління розпуском повинно забезпечити вирішення різноманітних задач: недопущення пошкодження вагонів, підвищення продуктивності гірки, зменшення обсягів маневрової роботи по ліквідації «вікон», скорочення енергетичних витрат на роботу уповільнювачів, покращення умов праці робітників гірки та ін. Вказані задачі можуть бути вирішені за умови розробки автоматизованої системи регулювання швидкості скочування відчепів.

Основою автоматизованої системи регулювання швидкості скочування відчепів є імітаційна модель процесу скочування відчепів. Імітаційне моделювання досить широко використовується при проектуванні сортувальних гірок і дослідженні гіркових процесів. Відповідно [1] процес скочування відчепа описується диференціальним рівнянням $v' = f(s, v)$, для рішення якого використовується метод Рунге-Кутта IV порядку з постійним кроком Δs . При цьому на кожному кроці Δs моделювання переміщення відчепа виконується за допомогою диференціального рівняння першого порядку, в якому незалежною змінною є шлях [1]

$$v' = \frac{dv}{ds} = \frac{g'(i - w_0 - w_{cb} - w_{ck} - w_t) \cdot 10^{-3}}{v}, \quad v > 0$$

де w_0 – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс; w_{cb} – додатковий питомий опір руху від повітряного середовища, кгс/тс; w_{ck} – додатковий питомий опір, що виникає при проходженні стрілок і кривих кгс/тс; w_t – додатковий пи-

томий опір від гальмових уповільнювачів; v – швидкість відчепа, м/с; g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с².

Існуючі методи оптимізації режимів гальмування [2; 3] базуються на припущенні, що величини w_{ck} , w_{cb} , w_0 , w_t є постійними, а їх значення відомі до початку скочування. В той же час, відповідно до [4], вказані величини мають випадковий характер. Дослідження впливу випадкових факторів на швидкість та час скочування відчепів дозволить удосконалити методику оцінки техніко-експлуатаційних характеристик сортувальних гірок і розробити більш ефективні алгоритми оперативного управління процесом розпуску составів.

Для дослідження процесу розпуску составів в умовах дії випадкових факторів удосконалено базову модель [5] скочування відчепів з гірки.

Відповідно до [4] випадкова величина w_0 має гама розподіл з параметрами α та β , що залежить від вагової категорії вагона q

$$F(w_0) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{w_0} e^{-\beta w_0} w_0^{\alpha-1} dw_0,$$

де α , β – коефіцієнти гама-розподілу.

В результаті статистичної обробки даних перевізних документів встановлено, що в межах вагових категорій Л, ЛС, С та СТ випадкова величина Q_v розподілена за рівномірним законом. Вага вагонів важкої категорії Т є випадковою величиною, моделювання значення якого у окремому досліді може бути виконано за допомогою виразу [6]

$$Q_{v(T)} = Q_T + Q_{вп} - \xi,$$

де Q_T , $Q_{\text{вп}}$ – відповідно тара та вантажопідйомність вагону; ξ – випадкова величина недовантаження вагона, що має показниковий закон розподілу.

Випадкове значення $w_{\text{ск}}$ відповідно до [4] має розподіл Ерланга. Для його моделювання використовується вираз:

$$w_{\text{ск}}(v) = v^2 \sum_{j=1}^{m_{\text{отц}}} q_{vj} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} \frac{C_{\text{ски}}}{l_{\text{ски}}},$$

де $m_{\text{отц}}$ – кількість вагонів у відцепі; q_{vj} – вага відцепу, т; $l_{\text{ски}}$ – довжина ділянки скочування відцепу, м.

При цьому випадкове значення $C_{\text{ски}}$ для окремої стрілки чи кривої визначається за формулою [4]:

$$C_{\text{ски}} = -\frac{0,56\theta + 0,23\varphi_n}{8} \ln \prod_{k=1}^8 R_k,$$

де θ_n – тип n -го елемента ($\theta_n = 0$ – крива; $\theta_n = 1$ – стрілка); φ_n – кут повороту кривої n -го елемента, град; R_k – випадкові числа розподілені рівномірно у інтервалі (0; 1).

Значення $w_{\text{ск}}$ та w_T моделюються як випадкові величини з нормальним законом розподілу, характеристики яких залежать від ваги і типу вагонів відцепу.

Зважаючи на те, що більшість характеристик відцепів та умов скочування є випадковими величинами, швидкість $v(s)$ та час $t(s)$ руху відцепів є також випадковими величинами.

Для вивчення характеру розподілу випадкових величин $v(s)$ та $t(s)$ виконано серію іміта-

ційних експериментів. Розкид випадкових величин швидкості та часу руху відцепів легкої вагової категорії зображено на рис. 1. *а*. На рис. 1, *б* наведена гістограма розподілу часу скочування відцепу легкої вагової категорії до моменту виходу з другої гальмівної позиції. На підставі аналізу результатів дослідів висунута гіпотеза про нормальний розподіл швидкості та часу руху відцепів. Перевірка за критерієм Пірсона χ^2 показала, що немає підстав для того, щоб відхиляти вказану гіпотезу. Експерименти при інших умовах також підтвердили нормальний розподіл.

Таким чином при оптимізації інтервального регулювання швидкості відцепів з достатньою точністю можна вважати, що час скочування відцепу до деякої точки t знаходиться в межах інтервалу

$$\bar{t} - q_k \sigma(t) < t < \bar{t} + q_k \sigma(t).$$

Математичне очікування часу скочування відцепу $\bar{t}$ до деякої точки має близьке значення до часу скочування відцепу, з вагою та основним питомим опором рівним їх математичним очікуванням у ваговій категорії. Для перевірки вказаної гіпотези відповідно до [7] визначені межі довірчого інтервалу для величини $\bar{t}$.

$$G_n = \bar{X} - z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad G_e = \bar{X} + z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

де G_n , G_e – відповідно нижня та верхня межі випадкового інтервалу; $\bar{X}$ – середнє арифметичне ряду змінних; z_α – критичне значення нормованого нормального розподілу при двобічному обмеженні; α – середнє квадратичне відхилення; n – об'єм ряду вимірювань.

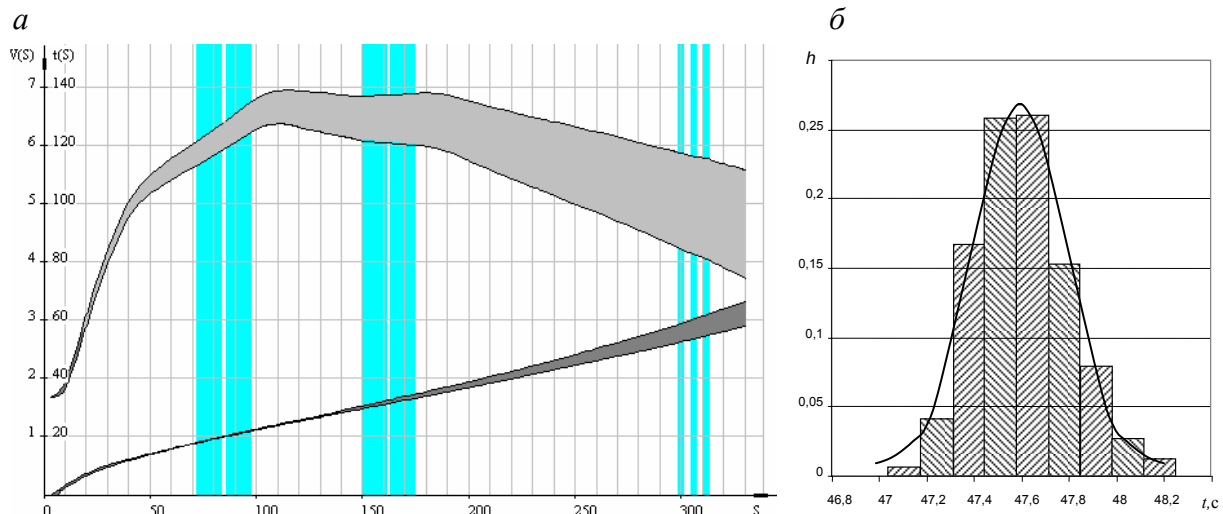


Рис. 1. Результати вільного скочування відцепів легкої вагової категорії:
а – розкид швидкості та часу скочування; *б* – гістограма розподілу часу руху відцепу в момент його виходу з другої гальмівної позиції

Для аналізу впливу різних факторів на величину середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа виконано серію імітаційних експериментів по скочуванню відчепів без гальмування з використанням плану Кіфера 3^3 [8]. Фактори та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Фактори та рівні їх варіювання
для побудови моделі скочування відчепа
по спускній частині гірки**

Фактори	$x_i = -1$ (нижній рівень)	$x_i = 0$ (основний рівень)	$x_i = 1$ (верхній рівень)
Вагова категорія відчепа (x_1), q	Л	С	Т
Кількість вагонів у відчепі (x_2), n	1	3	5
Довжина шляху скочування (x_3), L	23,42	174,15	324,88

В результаті розрахунків отримано залежність у вигляді полінома другого ступеня [9]:

$$y = 0,090 - 0,028x_1 - 0,033x_2 + 0,074x_3 + \\ + 0,013x_1x_2 - 0,023x_1x_3 - 0,033x_2x_3 - 0,007x_1^2 + \\ + 0,018x_2^2 + 0,011x_3^2 + 0,013x_{123}.$$

Як показує аналіз цієї моделі основним фактором, від якого залежить величина середнього квадратичного відхилення швидкості руху, є довжина шляху скочування відчепа L .

Визначення довірчих інтервалів часу і швидкості скочування значно ускладнюється при скочуванні відчепа в умовах гальмування. На рис. 2 зображено результати експериментів по скочуванню відчепів важкої вагової категорії при заданій швидкості виходу з першої і другої гальмівних позицій, відповідно 5 і 3 м/с. Як показали експерименти середнє квадратичне відхилення швидкості та часу скочування відчепів $\sigma(t)$ суттєво залежить від швидкості руху відчепів по спускній частині гірки, а відповідно від режимів гальмування відчепів.

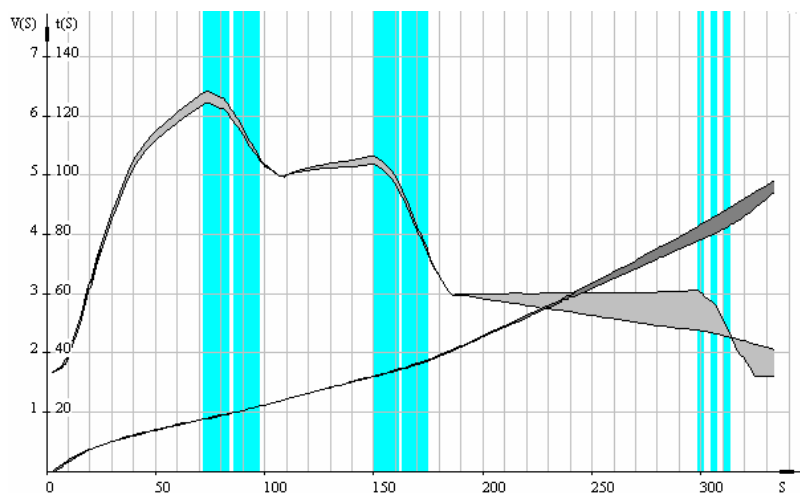


Рис. 2. Розкид швидкості та часу скочування відчепів важкої вагової категорії в умовах гальмування

На рис. 3 наведено залежність середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа важкої вагової категорії від моменту відливу до моменту входу на ізолювану ділянку стрілки 5.

Наведена залежність складається із п'яти ділянок:

– основна ділянка (ділянка №3), в якій всі відчепа даної вагової категорії скочуються з гальмуванням і забезпечується задана швидкість їх виходу з гальмівної позиції. В результаті регресійного аналізу встановлено, що залежність середнього квадратичного відхилення часу руху відчепів від заданої швидкості їх ви-

ходу з гальмівної позиції в межах цієї ділянки може бути апроксимована оберненим поліномом другого ступеня

$$y = \frac{1}{a_0 + a_1 v_{\text{вих}} + a_2 v_{\text{вих}}^2},$$

де a_0, a_1, a_2 – емпіричні коефіцієнти.;

– ділянка використання повної потужності гальмівної позиції для всіх відчепів даної вагової категорії (ділянка № 1). Цій ділянці відповідають найнижчі швидкості руху відчепа. В її межах всі відчепа скочуються з гальмуванням, але задана швидкість їх виходу з гальмівної по-

зиції реалізована бути не може через обмеження її потужності. Середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепа в межах цієї ділянки має постійне значення;

– ділянка скочування відчепів без гальмування (ділянка № 5). Цій ділянці відповідають такі задані швидкості виходу з гальмівної позиції, що не можуть бути досягнуті жодним з відчепів даної вагової категорії навіть при скочуванні без гальмування. Середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепа в межах цієї ділянки також має постійне значення;

– перехідні ділянки № 2 та 4 в межах яких для частини відчепів може бути реалізована задана швидкість виходу з гальмівної позиції, а для частини ні. Закон розподілу випадкової величини часу руху відчепів в межах цих ділянок відрізняється від нормального, а залежність середнього квадратичного відхилення $\sigma(t)$ від заданої швидкості виходу з гальмівної позиції в їх межах має характер, близький до лінійного.

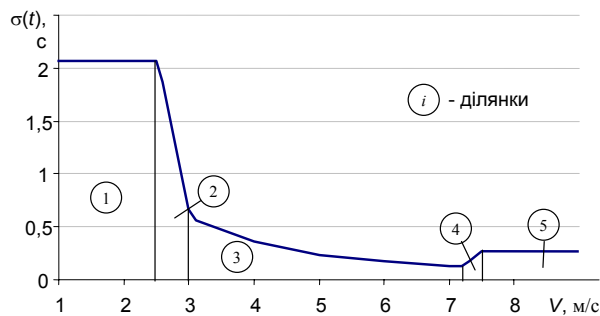


Рис. 3. Зміна середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа до входу на ізолювану ділянку стрілки 5 в залежності від швидкості його виходу з першої гальмівної позиції

Отримати адекватні статистичні моделі для швидкості та часу скочування відчепів в умовах гальмування не вдалося. Тому при розв'язанні задачі оптимізації режимів гальмування відчепів необхідно або виконувати серію скочувань, або розробити спеціальні таблиці.

Таким чином, вплив випадкових факторів суттєво ускладнює визначення режимів гальмування відчепів при розформуванні составів. Розкид часу скочування відчепів одної вагової категорії може досягати суттєвих значень, що призводить до зменшення гарантованих інтер-

валів на розділових елементах. Зважаючи на те, що розкид часу скочування відчепа залежать від його характеристик, відстані скочування та режимів гальмування виникає задача пошуку таких режимів гальмування, які дозволяють максимізувати гарантовані інтервали на розділових елементах. Рішення цієї задачі є метою подальших досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровский В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 6. – С. 34–39.
2. Образцов В. Н. К вопросу о тяговых расчетах сортировочных горок // Труды МИИТа. – Вып. 9. – М., 1928. – с. 129. – 152.
3. Образцов В. Н. Станции и узлы / В. Н. Образцов, В. Д. Никитин, Ф. Н. Шаульский, С. П. Бузанов. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.
4. Муха Ю. А. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств // Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
5. Муха Ю. А., Муратов А. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Д.: ДИИТ, 1990. – С. 11–20
6. Козаченко Д. М. Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова.
7. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. Под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Мир, 1970.
8. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
9. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263с., ил. – (Мат. статистика для экономистов).

Надійшла до редколегії 14.03.07.

С. А. АЛПЫСБАЕВ, Р. К. САТОВА, Д. Г. МУХАМБЕТОВ, А. Д. МУХАМБЕТОВА
(Казахская академия транспорта и коммуникаций им. Тынышпаева)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА КАЗАХСТАНА

На основі обробки статистичних даних проведено аналіз технічного стану та результатів перевізної діяльності транспортного комплексу Казахстану в період 2000-2006 рр. Визначені основні чинники високої частки транспортної складової в структурі ВВП Казахстану та показані шляхи її зниження.

На основе обработки статистических данных проведен анализ технического состояния и результатов перевозочной деятельности транспортного комплекса Казахстана в период с 2000 по 2006 годы. Выявлены основные причины высокой доли транспортной составляющей в структуре ВВП Казахстана и показаны пути ее снижения.

On the basis of processing the statistical data the analysis of a technical condition and results of transportation activity of a transport complex of Kazakhstan is lead to the period with 2000 for 2006. Principal causes of a high share of a transport component in structure of gross national product of Kazakhstan are revealed and ways of its decrease are shown.

Основной задачей транспортного комплекса Казахстана является интеграция в евразийскую транспортную систему. Вместе с тем глобализация экономических связей предполагает жесткую конкуренцию производителей товаров и услуг, в том числе транспортных. В связи с этим целью данной работы стал анализ технического состояния транспортного комплекса Казахстана и эффективности его работы в последние годы. В качестве исходных данных были использованы официальные источники Агентства Республики Казахстан (РК) по статистике в период с 2000 по 2006 годы.

Техническое состояние транспортного комплекса. Транспорт Казахстана в целом является в достаточной степени технически оснащенной отраслью экономики. Так, в 2005 году стоимость основных средств транспортных предприятий составила около 1 трлн. 221 млрд. тенге (Курс доллара в 2005 году в среднем 125,6 тенге/USD). Из них наибольший объем средств приходится на железнодорожный транспорт, в 2005 году он составил 479 млрд. 886 млн. тенге или 39 % от основных средств всей транспортной системы. Занимающий вторую позицию трубопроводный транспорт имеет примерно вдвое меньше основных средств. Особого внимания требует оценка общей стоимости автотранспортных средств Казахстана, так как более половины из них находится в личной пользовании граждан и поэтому не учитывается в качестве основных средств предприятий. Так, в 2005 году индивидуальным владельцам принадлежали 51 % из общего чис-

ла грузовых и 92 % из общего числа легковых автомобилей.

Транспорт республики является инвестиционно-привлекательной отраслью. Лидерство по инвестициям принадлежит трубопроводному транспорту. Так, с 2002 по 2005 год в него ежегодно инвестировалось от 50 до 68 млрд. тенге, что составляло в 2002 ...2003 годах более 45 %, а в 2004...2005 годах около 22 % от объема основных средств этого вида транспорта.

Второе место по объемам инвестиций занимает железнодорожный транспорт. Объем финансовых вливаний здесь увеличился за последние четыре года почти в 5 раз: от 5 млрд. 603 млн тенге в 2002 году до 25 млрд 22 млн тенге в 2005 году. Однако по отношению к стоимости основных средств железнодорожного транспорта ежегодные инвестиции составляют в среднем всего 5 %. Стабильно инвестировался прочий сухопутный транспорт. Объем ежегодных инвестиций составил около 20 % от основного капитала. Ударные дозы инвестиций получил воздушный транспорт в первые годы анализируемого периода, так в 2002 г. объем инвестиций составил 104,8 % и в 2003 г. – 55,1 % стоимости основных средств..

В период 2002...2005 годы в транспортную отрасль было импортировано значительное количество транспортных средств, стоимость которых составила около четверти от суммы основных средств всех транспортных предприятий. Наиболее стабильно пополнялся автомобильный транспорт. Количество ежегодно импортируемых грузовых автомобилей составляло 3...6 %, автобусов 8...13 % от имеющего-

ся в республике парка автомашин. Наибольшие темпы роста импорта характерны для легковых автомобилей, их ввоз увеличился с 8 % в 2002 году до 17 % в 2005 году. Существенное обновление авиационной техники произошло в 2002...2003 годы. Так, в 2003 году он составил 678 % от стоимости имеющегося основного капитала. На фоне авиационного и автомобильного транспорта бледно выглядит железнодорожный транспорт, обновление которого импортной техникой составляло в среднем около 10 %.

Большой объем импорта объясняется тем, что в республике отсутствует своя машиностроительная индустрия по производству транспортной техники. В результате практически любое обновление происходит за счет импорта. Поэтому действенной мерой было бы приобретение у иностранных производителей наряду с транспортной техникой также технологии и оборудования для ее производства на территории Казахстана, т. е. импорт совмещать с трансфертом соответствующей технологии.

Основной проблемой транспортного комплекса является физический и моральный износ парка подвижных средств, усугубляемый отсутствием отечественной машиностроительной индустрии для его обновления. В этих условиях важнейшую роль играет правильный выбор стратегии технической модернизации транспортного комплекса для обеспечения его конкурентоспособности на рынке международных перевозок.

Транспортная составляющая в структуре ВВП. Анализ статистических данных [1–3] и результаты их обработки, показали, что в период с 2000 по 2006 годы индекс физического объема валового внутреннего продукта Казахстана находился в пределах 109...113 %, т. е. наблюдался устойчивый рост ВВП Казахстана ежегодно в среднем примерно на 10 %.

В общем объеме ВВП удельный вес продукции транспортной отрасли в рассматриваемом периоде остается относительно стабильным и составляет около 10 %. Темпы ее роста по годам примерно совпадают с темпами роста ВВП. Наибольшее значение транспортной составляющей достигается в 2003 году, затем наблюдается устойчивая тенденция ее снижения с 10,8 % в 2003 году до 9,0 % в 2006 году.

Структура транспортной составляющей ВВП крайне неравномерна по видам транспорта. Основная ее доля приходится на деятельность прочего сухопутного (преимущественно автомобильного) транспорта, которая составляет

50...60 % от результата деятельности всей транспортной отрасли. Причем в динамике с 2003 года по 2005 год прослеживается заметное снижение составляющей прочего сухопутного транспорта с 6,0 до 4,2 %, т. е. почти в полтора раза.

Тем не менее, удельный вес продукции транспорта в ВВП остается относительно высоким. Вклад деятельности транспорта и связи в валовой внутренний продукт в таких развитых странах, как Китай, Германия, Ирландия, Япония почти вдвое ниже, чем в Казахстане [4].

Такое положение не может не влиять на уровень цен производимых в Казахстане товаров и услуг. Поэтому возникает настоятельная необходимость в изучении причин высокого уровня транспортной составляющей ВВП Казахстана.

Анализ работы транспорта по перевозкам грузов и пассажиров. Как известно, для характеристики объема работы транспорта используются два показателя: перевозка грузов, под которой понимают количество грузов в тоннах, перевезенных за определенный период, обычно один год, и грузооборот, равный произведению веса перевозимого груза на расстояние его перевозки, и измеряемый в т·км.

Анализ статистических данных по перевозке грузов основными видами транспорта и результаты их обработки за период 2000...2005 годы [1–3] показал, что основная доля грузовых перевозок (около 80 %) приходится на автомобильный транспорт, далее следует железнодорожный транспорт (11...13 %) и трубопроводный (около 10 %). Удельный вес перевозок каждым из указанных видов транспорта в общем объеме перевозок в рассматриваемом временном интервале остается практически неизменным [4].

На первый взгляд представляется неожиданным первенство автомобильного транспорта в общем объеме грузоперевозок транспортного комплекса. Действительно, в отношении автомобильного транспорта существует проблема достоверного учета объемов транспортных услуг.

Дело в том, что транспортную деятельность могут осуществлять предприятия и организации любой формы собственности и любой организационно-правовой формы, как специализирующиеся на перевозочной деятельности, так и те для которых перевозка грузов и пассажиров не является основной деятельностью, а также граждане, занимающиеся индивидуальной предпринимательской деятельностью без образования юридического лица (физические лица).

Статистика транспорта осуществляет наблюдение за хозяйствующими субъектами, являющимися юридическими лицами, в то время

как основная доля автотранспортных средств находится в личной собственности граждан. Так, в 2005 году в личной собственности граждан находилось грузовых автомобилей 50,9 %, автобусов 53,3 %, легковых автомобилей 93 %, причем доля последних составляла 80 % от общего числа автотранспортных средств [3]. Видно, что большая часть автотранспортного парка не подвержена прямому учету органов государственной статистики. Поэтому с помощью экспертов МВФ была разработана методика досчета объема транспортной работы с учетом ненаблюдаемого сектора экономики.

Принцип данной методики основан на расчете объема транспортной деятельности, приходящегося на один автомобиль на предприятиях с частной формой собственности и дальнейшем распространении его на количество исправных автомобилей, находящихся в частной собственности физических лиц.

Если учесть, что в 2005 году по данным Агентства РК по статистике в перевозке грузов автомобильным транспортом доля государственных предприятий составила 3 %, ведомственного транспорта 29 %, а частных автомобилей 68 % [3], то будет ясно, что около 60 % суммарного объема услуг, относящихся к автомобильному транспорту, получено в результате экстраполяции данных. Естественно, результаты, полученные за счет обобщения лишь одной трети исходных данных, обладают значительной погрешностью. Но, тем не менее, данные Агентства РК по статистике справедливо считаются наиболее достоверными, за неимением других источников информации.

В структуре грузооборота, в отличие от грузоперевозок, преобладает железнодорожный транспорт, на долю которого приходится до 60 % всего грузооборота. Далее следуют трубопроводный и автомобильный транспорт.

Изменение последовательности значимости отдельных видов транспорта по грузообороту в отличие от перевозки грузов обусловлено влиянием расстояния перевозок. По этому параметру лидирует железнодорожный транспорт, затем идут трубопроводный и автомобильный. Значения средней дальности перевозок железнодорожным и трубопроводным транспортом составляют довольно значительную величину – около 700 и 400 км/т, соответственно. Средняя дальность перевозок по транспорту в целом колеблется в пределах 150...170 км/т.

Отсюда следует, что одна из причин высокой доли транспортной составляющей ВПП в

Казахстане заключается в больших расстояниях грузоперевозок. Для того, чтобы произвести некоторый конечный продукт в Казахстане необходимо доставить его сырьевых компонентов из пунктов, в несколько раз более удаленных от места производства конечного продукта, чем в развитых странах.

Большие расстояния перевозок грузов объясняются объективными причинами, обусловленными низкой плотностью населения и разбросанностью населенных пунктов, сложившимся в советское время разделением труда в масштабах всего Союза и, наконец, нерациональной сетью авто и железных дорог, преимущественного меридианного направления, полученного в наследство от СССР.

В современных условиях одним из путей снижения транспортной составляющей за счет уменьшения расстояний грузоперевозок является создание локальных региональных комплексов с замкнутым циклом производства. Планируемое в Казахстане развитие кластерной инициативы, несомненно, будет способствовать сокращению средних расстояний грузоперевозок, и как следствие, приведет к снижению транспортных расходов. В частности, такими преимуществами будут обладать формируемые в настоящее время территориальные социально-предпринимательские корпорации (СПК).

Эти данные позволяют резюмировать, что большие расстояния перевозок грузов, обусловленные разбросанностью населенных пунктов и низкой плотностью населения Казахстана по сравнению с западными странами, являются одним из объективных факторов высокой транспортной составляющей ВВП нашей страны.

Перейдем к работе транспорта по обслуживанию пассажиров. Анализ статистических данных [1–3] показал, что основную нагрузку по перевозке пассажиров несет автомобильный транспорт. Его услугами стабильно из года в год пользуются до 99,8 % от общего числа пассажиров. Так, в течение 2005 года количество автоперевозок на территории Казахстана составило 9 млрд 899,9 млн.

По показателям пассажирооборота также лидирует автомобильный транспорт, далее следуют железнодорожный и воздушный транспорт. При этом средняя дальность перевозки одного пассажира железной дорогой увеличилась с 480 до 738 км и снизилась с 2246 до 1937 км по воздушным перелетам.

Структуры и объем перевозимых грузов железнодорожным транспортом. Анализ статистических данных показал, что наибольшая

часть перевозимых грузов по железной дороге приходится на каменный уголь, далее следуют руда, нефть и нефтепродукты, черные металлы, строительные грузы, прочие грузы. Вместе с тем, в динамике структуры грузов наметилась тенденция относительного снижения доли каменного угля в общем объеме грузов с 47,4 % в 2000 году до 38,7 % в 2005 году, хотя в абсолютном выражении объем ее перевозок год от года увеличивался. Одновременный рост абсолютных и относительных показателей транспортировки имеют грузы, представляющие собой продукцию перерабатывающей промышленности, такие, как черные металлы, строительные грузы (минеральные строительные материалы, цемент, лес и лесоматериалы) и прочие грузы.

Как видно из проведенного анализа в структуре перевозимых грузов преобладает сырье (уголь, нефть, руда), которое, как известно, обладает низкой добавленной стоимостью. Поскольку транспортные затраты определяются весом груза и дальностью перевозок, то, очевидно, в удельный вес этих затрат в цене груза будет выше, чем ниже стоимость самого груза. В этом заключается вторая объективная причина высокой транспортной составляющей ВВП Казахстана.

Следует отметить, что проводимая в настоящее время диверсификация экономики Казахстана, при которой продукция обрабатывающей отрасли промышленности будет расти более быстрыми темпами, чем добывающей отрасли, должна привести к снижению транспортной составляющей ВВП.

Таким образом, основными причинами высокой доли транспортной составляющей ВВП являются:

- низкая стоимость перевозимых грузов, представляющих собой в основном сырьевую

продукцию добывающей отрасли промышленности Казахстана;

- большие расстояния перевозок, обусловленные сложившейся ранее системой разделения труда в масштабах всего СССР, преимущественно меридианной направленностью авто - и железнодорожных магистралей, не удовлетворяющей производственные потребности современного Казахстана;

- износ парка транспортных средств, усугубляемый отсутствием национальной машиностроительной базы для его обновления.

Основой для положительного решения этих проблем являются проводимые в настоящее время глубокие преобразования в экономике Казахстана. Конкретные меры по снижению транспортной составляющей ВВП и качественному улучшению транспортной инфраструктуры намечены в Транспортной стратегии Республики Казахстан до 2015 года [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистический ежегодник Казахстана. Под ред. К. С. Абдиева. - Алматы: Агентство РК по статистике, 2005, 502 с.
2. Социально-экономическое развитие Республики Казахстан. Под. ред. Б. Т. Султанова. Алматы: Агентство РК по статистике, 2006, № 7, 123 с.
3. Транспорт и связь Республики Казахстан 2002 - 2005. Статистический сборник. Под ред. Э. Кунаева. Агентство РК по статистике. Алматы, 2006 – 62 с.
4. Алпысбаев С. А., Сатова Р. К., Мухамбетова А. Д. Анализ причин высокой доли транспортной составляющей ВВП Казахстана. Магистраль, 2007, № 2, – С. 58–63.
5. Транспортная стратегия Республики Казахстан до 2015 года. Астана, 2006 г.

Поступила в редколлегию 28.03.07.

О КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВОГО ПРИВОДА КЛАССА II ЛОКОМОТИВА

У роботі наводиться нова конструкція тягового привода класу II локомотива і системи його підвішування з урахуванням само встановлення її елементів.

В работе представлена новая конструкция тягового привода класса II локомотива и система его подвешивания с учетом самоустановки ее элементов.

In this paper the new construction of drug device of class II and its suspension system are described.

Введение. Тяговый привод является наиболее сложным и ответственным узлом экипажной части локомотива. Не случайно при создании новых локомотивов и поиске новых решений по системам тяги одной из основных и сложных задач является выбор схемы и конструкции тягового привода как механизма.

Привод при его размещении в тележке должен обеспечивать минимальный момент инерции тележки относительно вертикальной оси, вокруг которой происходят угловые колебания в горизонтальной плоскости [1].

Постановка задачи. При конструировании тягового привода необходимо предусмотреть минимальную паразитную связь между относительными вертикальными перемещениями буксы и рамы тележки и угловыми колебаниями якоря двигателя. Паразитная связь порождает динамические нагрузки в приводе, повышает динамическую жесткость буксового узла при вертикальных перемещениях, ухудшает показатели по воздействию на путь, приводит к неравномерному нагружению рамы тележки и вызывает ее перекося.

Поэтому поиск возможных решений, способствующих уменьшению этих перекосов, а также усовершенствование конструкции с учетом самоустановки ее элементов – задача достаточно актуальная.

Научные результаты. Существуют две схемы передачи нагрузок от двигателя на раму тележки: консольная и безмоментная. Консольная схема подвешивания двигателей используется на тележках электропоездов с двигателями мощностью до 250 кВт (электропоезда типов ЕР, Е). Однако с ростом мощности двигателей увеличивается их масса, растут инерционные, а также реактивные силы, вызванные тяговым моментом, и становится необходимым применять более прогрессивную схему крепления тяговых двигателей – безмоментную. Особен-

ность ее заключается в том, что двигатель опирается на две поперечные балки рамы тележки – центральную и концевую или специальную дополнительную балку, связанную с поперечными балками рамы болтовыми соединениям (электровозы типов ЧС1, ЧС3, ЧС2).

Эффективным средством улучшения динамических свойств привода с опорно-осевыми ректорами является рациональный выбор угла наклона реактивной тяги подвески редуктора [1]. Если тяга горизонтальна, то вертикальные поступательные перемещения колесной пары (вследствие игры пружин) не вызывают дополнительного поворота якоря. При этом кардан должен быть рассчитан на полную игру пружин. При вертикальной или наклонной тяге условие хорошей динамики не выполняется. Однако имеются недостатки привода, которые при эксплуатации электровоза в значительной степени влияют на интенсивные износы в деталях привода.

Созданный в Украине на базе Научно-производственного комплекса «Днепропетровский электровозостроительный завод» магистральный электровоз типа ДС3 с асинхронным тяговым двигателем имеет тяговый привод класса II и безмоментную схему крепления тяговых двигателей.

В тяговом приводе электровоза ДС3 использованы хорошие технические решения: двойной зубчатый кардан, который (как простейший механизм) имеет пять степеней подвижности; редуктор имеет шевронные зубья, что способствует самоустанавливанию ведомого колеса по отношению к ведущему, в шарнирных соединениях использованы резинометаллические втулки, сферические подшипники.

Кроме того, следует отметить, что связь между рамой тележки и кузовом не шкворневая, а выполнена при помощи шарнирных тяг. Одна-

ко ходовые динамические испытания электро-
воза ДСЗ показали, что пружины тележки име-
ют неодинаковую нагруженность. Это проис-
ходит потому, что редукторы (передаточного
механизма) расположены в разных плоскостях
по ширине тележки, а их окружные силы F

имеют различные направления. Окружная си-
ла, действующая в редукторе одного привода,
направлены вверх под углом 15° к вертикали, а
окружная сила редуктора другого привода дей-
ствует вниз под тем же углом к вертикали
(рис. 1).

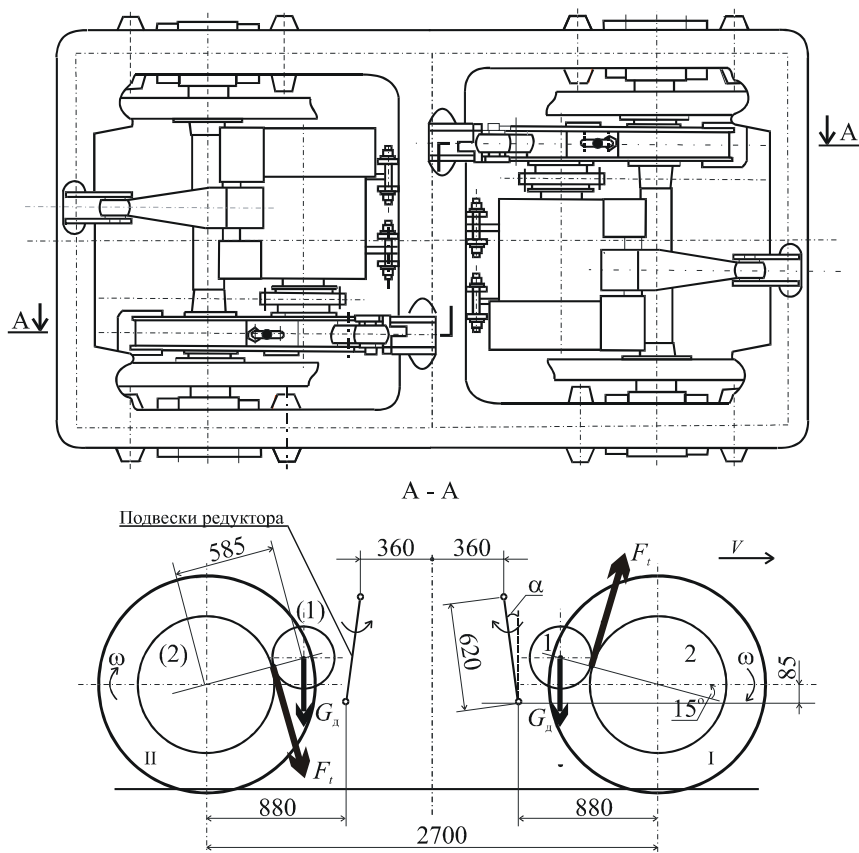


Рис. 1. Силы, действующие в тележке при создании силы тяги:

$I, 2$ – ведущее и ведомое зубчатые колеса I колесной пары; $(I), (2)$ – ведущее и ведомое зубчатые колеса II колесной пары; $\vec{V}$ – направление скорости движения тележки в режиме тяги; G_d – вес тягового двигателя с ведущим валом.

Противоположно направленные окружные силы, точки приложения которых не совпадают с центром симметрии тележки, вызывают косо-симметричное нагружение рамы тележки, кузова электровоза, что и было отмечено в работе [2].

Авторами в работе [3] также указано, что наличие двух приводов, косо-симметрично расположенных в тележке, приводит к косо-симметричному нагружению, действующему на раму тележки. Величина этого нагружения зависит от расположения тяговых электродвигателей, расположения точек подвешивания редукторов относительно геометрического центра тяжести, от мощности двигателя, а также от передаточного числа редуктора.

Известно, что при структурном синтезе вид кинематических пар необходимо выбирать так, чтобы детали (звенья) могли приспособивать-

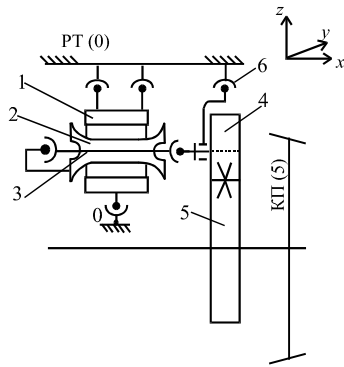
ся к изменениям исходных точек звеньев при изменении их взаимного расположения как замыкающих (закреплений на раме тележки). Для создания рационального механизма необходимо ликвидировать лишние связи, то есть получить статически определимую систему. Число лишних связей q определяется по формуле А. П. Малышева (для пространственной схемы) [4; 5]:

$$q = W - 6n + 5p_1 + 4p_2 + 3p_3 + 2p_4 + p_5,$$

где W – число степеней подвижности системы; n – число подвижных звеньев; $p_1, p_2, \dots, p_5$, – род кинематических пар.

Рассмотрим систему подвешивания тягово-го привода класса II магистрального грузо-пассажирского электровоза типа ДСЗ и составим структурную формулу подвешивания тяго-вого двигателя (рис. 2).

а



б

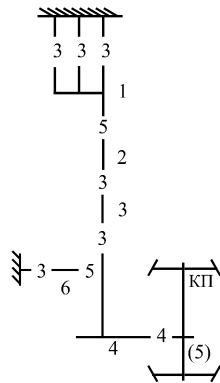


Рис. 2. Схема привода:

а) механическая система подвешивания тягового двигателя; б) структурная формула его подвешивания: 1 – статор тягового электродвигателя; 2 – ротор; 3 – зубчатый кардан; 4 – ведущая шестерня редуктора; 5 – ведомая шестерня редуктора (ось колесной пары); 6 – подвеска редуктора

Запишем кинематические пары рассматриваемого механизма:

$$\begin{aligned} p_1 &: 1-2, 4-6; \\ p_3 &: 1-0, (1)-0, (1)-0, 2-3, 3-4, 6-0; \\ p_4 &: 4-5; \end{aligned}$$

то есть $p_1 = 2$, $p_3 = 6$, $p_4 = 1$, $n = 5$.

Подвижность ведомой шестерни, то есть между рельсами и колесной парой могут быть двойками: если колесная пара не прижата гребнем к рельсу, то кинематическая связь будет пятого рода – наложено одно линейное условие связи по оси z , если колесная пара прижата гребнем к рельсу, то будет соединение по оси y и одно линейное условие по оси z .

Для механизма подвешивания тягового двигателя, который замыкается одной колесной парой, число степеней подвижностей должно быть равно $W = 5$.

За основу примем раму тележки, к которой прикреплен система подвешивания тягового двигателя.

Следовательно, число лишних связей

$$q = 5 - 6 \cdot 5 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 6 + 2 \cdot 1 = 5.$$

Настоящий анализ представлен структурной формулой на рис. 2, б, где цифрами обозначено количество вносимых кинематической парой связей, а черточкой или фигурой – звено системы с их порядковыми номерами.

Данный механизм спроектирован с пятью лишними связями, и его необходимо усовершенствовать.

Один из вариантов механизма скоростного тягового привода описан в книге Л. Н. Решетова [5], а также в а.с. СССР 1523441 [6]. Этот привод имеет электродвигатель, двухступенчатый редуктор, в котором между ведущей и ведомой шестернями дополнительно установлена промежуточная шестерня, конструкция которой обеспечивает самоустановление зубьев шестерен, находящихся в зацеплении.

Заслуживает внимания и техническое решение, приведенное в а.с. СССР 1093585 [7]. Здесь оборудование подвески механизма привода локомотива имеет дополнительные реактивные тяги, которые шарнирно связаны с механизмом, между собой и рамой тележки, что обеспечивает дополнительную подвижность механизма привода и надежность его работы.

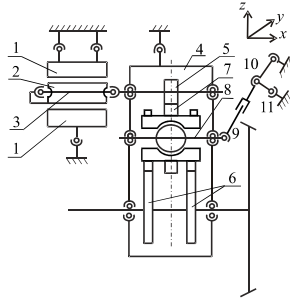
Однако недостатком этой конструкции тягового привода является то, что он может способствовать кососимметричному нагружению рамы тележки в случае ее шарнирного соединения с кузовом (что имеет место в конструкции электровоза ДСЗ).

На основе настоящих исследований относительно устранения крутильного момента, вызывающего кососимметричное нагружение пружин первой ступени рессорного подвешивания тележки локомотива, а также ликвидации перекоса рамы двухосной тележки при наличии двух кососимметрично расположенных тяговых приводов, в данной работе приведена новая конструкция тягового привода, подтвержденная декларационным патентом [8].

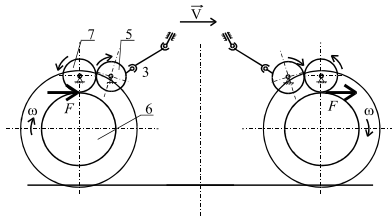
На рис. 3, а представлен один тяговый привод локомотива. Он состоит из электродвигателя 1, его ротора 2, в середине которого находится торсионный вал 3, корпуса редуктора 4, в котором между ведущей 5 и ведомой 6 шестернями установлена промежуточная шестерня 7, конструкция которой способствует самоустановлению зубьев шестерен, соединенных между собой, вала промежуточной шестерни 8, реактивной тяги 9, длина которой регулируется, и дополнительных реактивных тяг 10 и 11, шарнирно закрепленных на раме тележки. Ведущая шестерня состоит из двух зубчатых колес, которые закреплены на оси колесной

пары, имеют косые зубья и обуславливают шевронную передачу. Оси промежуточной и ведомой шестерни расположены на одной вертикальной оси (рис. 3, б), что позволяет радиальным силам F находиться в одной, горизонтальной плоскости и при условии, что эти силы находятся на одинаковом расстоянии от продольной оси тележки, можно ликвидировать крутящий момент.

а



б



в

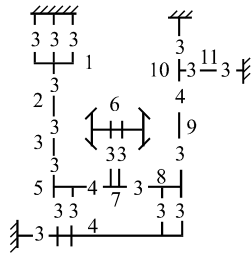


Рис. 3. Схема привода:

а) кинематическая схема тягового привода локомотива;
б) схема размещения зубчатых колес передаточного механизма;
в) структурная формула разработанной конструкции тягового привода класса II локомотива.

Запишем кинематические пары спроектированного механизма (см. рис. 3, а):

$$\begin{aligned} p_1: 1-2; \quad p_2: 5-7, 9-10; \\ p_3: 1-0, (1)-0, (1)-0, 7-8, 9-8, 10-0, \\ 4-0, 2-3, 3-5, 5-4, 8-4, (5)-(4), \\ (8)-(4), 11-0, 10-11, 6-7, (6)-(7), \end{aligned}$$

то есть $p_1=1$, $p_2=2$, $p_3=17$, $n=11$.

Подвижность ведомой шестерни 6, которая жестко закреплена на оси колесной пары, может быть двоякой: если колесная пара не прижата гребнем обода к рельсу, то кинематическая связь пятого рода, то есть наложено одно линейное условие связи по оси z ; если колесная пара прижата

гребнем к рельсу, то будет связь по оси y и одно линейное условие связи по оси z .

Для механизма подвешивания тягового двигателя, который замыкается одной колесной парой, число степеней подвижности должно равняться $W=5$.

За основу примем раму тележки, к которой закреплена система подвешивания тягового двигателя. Тогда, число лишних связей

$$q = 5 - 6 \cdot 11 + 5 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 3 \cdot 17 = 3.$$

Анализ механизма тягового привода представим структурной формулой (рис. 3, в).

Вывод. Спроектированный механизм тягового привода и система его подвешивания имеет на две лишние связи меньше по сравнению с существующим приводом на электровозе типа ДСЗ. Противоположно направленные окружные силы за счет введения в конструкцию промежуточной шестерни лежат в одной горизонтальной плоскости и находятся на одинаковом расстоянии от продольной оси тележки, что может способствовать устранению крутящего момента, создающего кососимметричное нагружение пружин тележки, а следовательно и ее рамы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирюков И. В., Беляев А. И., Рыбников Е. К. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
2. Особенности колебаний электровозов, имеющих подвешивание тягового привода класса II / Е. П. Блохин, М. Л. Коротенко и др. – Вісник ДНУЗТ. – 2005. – Вип. 8. – С. 21-22.
3. До питання зменшення перекосу рам візків локомотивів / Є. П. Блохін, О. М. Бондарів та ін. – Залізничний транспорт України. – 2004. – № 5. – С. 39-41.
4. Решетов Л. Н. Конструирование рациональных механизмов. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
5. Решетов Л. Н. Самоустанавливающиеся механизмы. Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
6. А.С. 1523441 СССР, В 61 С 9/15. Тяговый привод локомотива / А. А. Шацилло. – № 4051971/27-11; Заявлено 08.04.86; Опубл. 23.11.89, Бюл. № 43. – 4 с.
7. А.С. 1093585 СССР, В 61 С 9/48. Устройство подвески механизма привода колесной пары локомотива / А. Г. Вольперт, Н. Н. Каменев, В. С. Гинзбург, А. Д. Штейнброк. – № 3548282/27-11; Заявлено 04.02.83; Опубл. 23.05.84, Бюл. № 19. – 2 с.
8. Патент на полезную модель № 19300. Украина. Тяговый привод локомотива / В. Я. Панасенко, И. В. Клименко (Украина). – 5 с., Опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

Надійшла до редколегії 27.03.07.

С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), В. И. ПРИХОДЬКО (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод»)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пропонується математичний опис вибору параметрів механічних систем в загальному вигляді та з урахуванням особливостей залізничних екіпажів. Розглянуті приклади рішення задач векторної оптимізації за декількома показниками.

Предлагается математическое описание выбора параметров механических систем в общем виде и с учетом особенностей железнодорожных экипажей. Рассмотрены примеры решения задач векторной оптимизации по нескольким показателям.

The mathematical description of choosing the parameters of mechanical systems in general form and with eking account of the features of rail vehicles is presented. The examples of solution of vector optimization problems according to several indices are considered.

При создании новой конструкции, представляющей собой сложную механическую систему, например, рельсовый экипаж, существует проблема реализации конкретных технических решений с учетом различных условий возможных ограничений и требований. Причем это касается не только стадии проектирования конструкции, но и последующих стадий: производства, изготовления, эксплуатации, ремонта, утилизации. Но, создавая новую конструкцию, не возможно не обойтись без реализации и новых свойств конструкции, то есть новых параметров. Поэтому при создании механической системы или технического объекта, которым необходимо выполнять определенные функции в заданных условиях, возникает необходимость решения задачи по определению рациональных параметров составляющих ее элементов. Так, для рельсовых экипажей и для грузовых и пассажирских вагонов в частности, такими элементами могут быть несущие элементы конструкции кузова и тележки, а также системы гашения колебаний и амортизации [1–3].

Как известно, на стадии проектирования технического объекта создается его математическая модель и модель условий функционирования. В математической модели имеется некоторый набор параметров, которые необходимо определить, задавшись понятием их рациональности. Как правило, понятие рациональности формулируется на языке бинарных отношений [4]. Так, например, для грузового вагона в качестве показателей рациональности в работе [5] принимаются коэффициенты вертикальной и горизонтальной динамики необрессорен-

ной части вагона и коэффициент запаса устойчивости от всползания колеса на рельс.

Для пассажирского вагона показатели рациональности могут также включать кроме названных и коэффициенты горизонтальной и вертикальной динамики обрессоренных частей, коэффициент плавности хода, ускорения кузова вагона в вертикальном и в горизонтальном поперечном направлении. Как правило, следует принимать во внимание нормируемые показатели, например, в соответствии с Нормами [6]. Но возможно учитывать и ненормируемые показатели для рельсовых экипажей, такие как показатель износа на поверхности катания и показатель износа на гребне колеса [5].

Чтобы подобным задачам придать единообразную форму будем считать, что располагаем множеством $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, представляющем собой набор возможных элементов, из которых создается та или иная конструкция технического объекта, а каждый из элементов характеризуется несколькими параметрами. Например, элемент представляет собой пружину, тогда в качестве параметров могут быть взяты ее жесткость и геометрические размеры.

Так как целью данной работы является разработка теоретических основ определения рациональных параметров сложных механических систем, в т.ч. и за счет планирования эксперимента, результаты которого оцениваются по нескольким показателям, например, для рельсового экипажа это динамические показатели, которые в свою очередь в общем случае желательно сделать как можно меньше (кроме коэффициента устойчивости от всползания ко-

леса на рельс, который должен быть больше, и если меньше, то со знаком «минус»). Таким образом, в математическом плане приходим к задаче векторной оптимизации.

Формальная запись, которая представляет собой [7; 8]

$$\begin{pmatrix} F_1(x) \\ F_2(x) \\ \dots \\ F_n(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $x \in X \subset E_n$.

Прежде всего отметим, что будем понимать под решением задачи (1). Введем в рассмотрение бинарное отношение Парето [4]. Пусть x и y две производные точки из множества X , тогда под отношением Парето будем понимать

$$x P y \leftrightarrow (F_i(x) \leq F_i(y), i = \overline{1, m}) \quad (2)$$

причем среди неравенств имеется хотя бы одно строгое. Под решением задачи (1) будем понимать такое множество $X_* \subseteq X$, что любые две точки из X_* являются неравными по Парето, последнее означает, что найдутся какие-либо два показателя $F_i(x)$ и $F_j(x)$, так что будет иметь место

$$\begin{pmatrix} F_i(x) \leq F_j(y) \\ F_j(x) \geq F_j(y) \end{pmatrix} \text{ или } \begin{pmatrix} F_i(x) \geq F_i(y) \\ F_j(x) \leq F_j(y) \end{pmatrix}.$$

Для более конкретного толкования данных понятий рассмотрим пример, когда $m = 4$, а $n = 2$.

$$F_1(x) = x_1^2 + x_2^2;$$

$$F_2(x) = (x_1 - 1)^2 + 5(x_2 - 2)^2;$$

$$F_3(x) = 4(x_1 - 3)^2 + (x_2 - 1)^2;$$

$$F_4(x) = 2(x_1 - 1,5)^2 + (x_2 - 1,5)^2.$$

И рассмотрим шесть задач

$$\begin{pmatrix} F_i(x) \\ F_j(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $i = \overline{1, 3}$; $j = \overline{i+1, 4}$.

В качестве множества X возьмем E_2 . Необходимое условие решения задачи (3) представляет собой

$$\nabla F_i(x) = -\lambda \nabla F_j(x), \quad (4)$$

где $\lambda \geq 0$.

Решая уравнение (4) получим $x(\lambda)$, а перебирая λ от нуля до бесконечности получим множество X_{ij} .

Выполнив объединение множеств X_{ij} , имеем

$$\tilde{X} = \bigcup_{\substack{i=\overline{1,3} \\ j=\overline{i+1,4}}} X_{ij}$$

Точки множества $\tilde{X}$ удовлетворяют необходимому условию (4), поэтому решение задачи (1) X_* будет принадлежать этому множеству.

Взяв $i = 1$; $j = 2$, необходимое условие (4) принимает вид

$$\begin{cases} 2x_1 + \lambda(2x_1 - 2) = 0; \\ 6x_1 + \lambda(10x_2 - 20) = 0, \end{cases}$$

решением данной системы будет

$$x_1 = \frac{\lambda}{1 + \lambda};$$

$$x_2 = \frac{10\lambda}{3 + 5\lambda},$$

а множество X_{12} будет равным:

$$X_{12} = \bigcup_{\lambda \geq 0} \left\{ (x_1, x_2) : x_1 = \frac{\lambda}{1 + \lambda}; x_2 = \frac{10\lambda}{3 + 5\lambda} \right\}.$$

Геометрическое представление данного множества представлено на рис. 1.

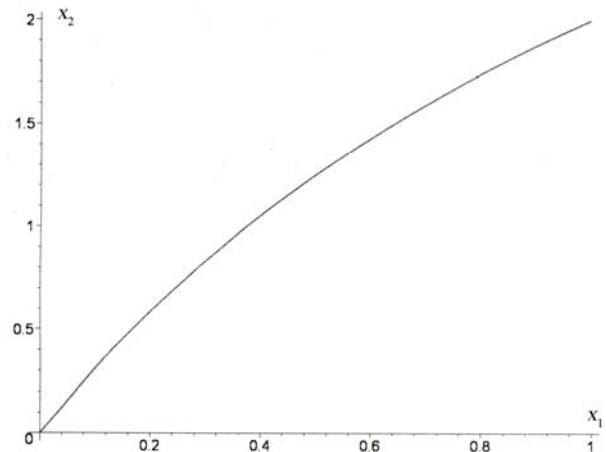


Рис. 1. Геометрическое представление множества X_{12}

Если подставить полученные значения $\tilde{o}_1(\lambda)$ и $\tilde{o}_2(\lambda)$ в $F_1(x)$ и $F_2(x)$, то имеем возможность построить зависимость F_2 от F_1 , т. е. отображение множества X_{12} в пространство функционалов (F_1, F_2) будет таким как показано на рис. 2.

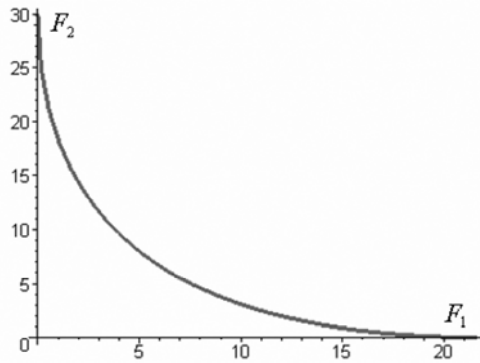


Рис. 2. Представление множества X_{12} в пространстве функционалов

Решив остальные задачи, получим множество $\tilde{O}$ (рис. 3).

Заметим, что узловые точки представляют собой точки, в которых соответствующие функции принимают минимальное значение.

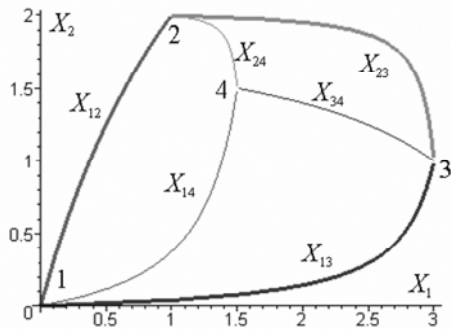


Рис. 3. Геометрическое представление $\tilde{O}$

В общем случае множество $\tilde{O}$ может быть довольно непривычного вида. Например, если $F_4(x)$ принять в виде $F_4 = 2(x-5)^2 + (y-4)^2$, то множество $\tilde{O}$ будет таким, как показано на рис. 4.

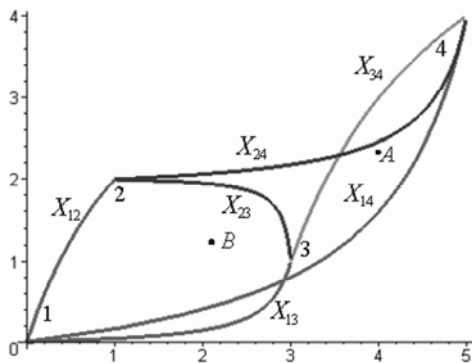


Рис. 4. Множество $\tilde{O}$ при измененной F_4

Возьмем в области $\tilde{O}$ две точки $A(4, 2)$ и $B(2, 1)$ и вычислим значения всех четырех функций в этих точках. В результате получим следующие значения:

$$\begin{aligned} F_1(A) &= 28; & F_1(B) &= 7; \\ F_2(A) &= 9; & F_2(B) &= 6; \\ F_3(A) &= 5; & F_3(B) &= 4; \\ F_4(A) &= 6; & F_4(B) &= 27. \end{aligned}$$

Из этих значений следует, что

$$\begin{aligned} F_1(A) &> F_1(B); \\ F_4(A) &< F_4(B), \end{aligned}$$

т.е. точки A и точки B являются несравнимыми по Парето.

На рис. 3 и 4 пунктирной линией обозначена граница области $\tilde{O}$.

Изложенный материал дает представление о том, когда функции $F_i(x)$ представляют собой квадратичные формы и в этом случае решение системы (4) может быть получено в аналитическом виде.

Если же хотя бы одна из функций $F_i(x)$ не является квадратичной формой, то система (4) в общем виде не имеет аналитического решения.

Пусть $F_1(x) = 2 - e^{-x^2} - e^{-y^2}$, что представляет собой в геометрическом виде поверхность, изображенную на рис. 5.

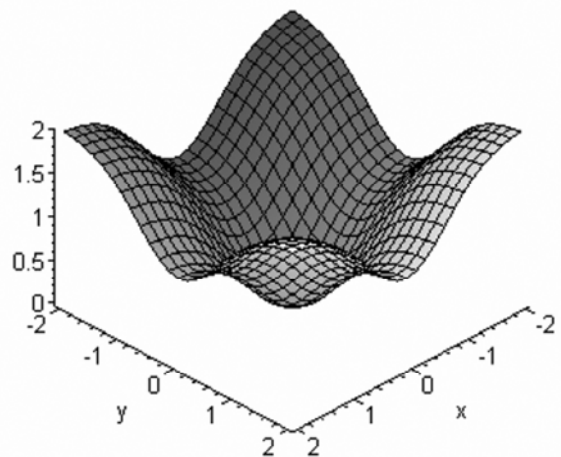


Рис. 5. Геометрическое представление поверхности $F_1(x)$

Задавшись некоторой точкой (x_0, y_0) в окрестности ее поверхность $F_1(x)$ приблизим квадратичной формой:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_{00} + a_{10}(x - x_0) + a_{01}(y - y_0) + \\ &+ \frac{1}{2}(a_{20}(x - x_0)^2 + 2a_{11}(x - x_0)(y - y_0) + a_{02}(y - y_0)^2), \end{aligned}$$

которую будем использовать при решении системы (2).

Вид квадратичной формы при $x_0 = 0,5$; $y_0 = 0,1$ представлен на рис. 6.

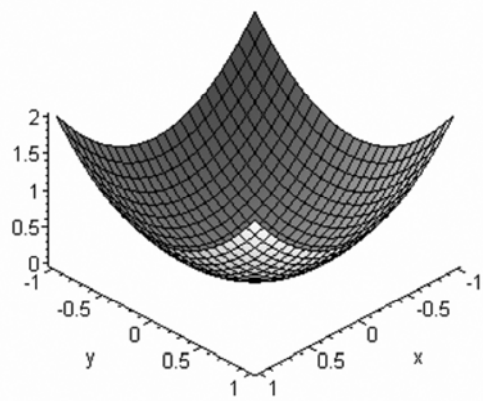


Рис. 6. Вид $Y_1(x, y)$ в окрестности точки $(x_0 = 0,5; y_0 = 0,1)$

О характере приближения квадратичной формой можно более подробно уяснить с помощью сечений, изображенных на рис. 7 и 8.

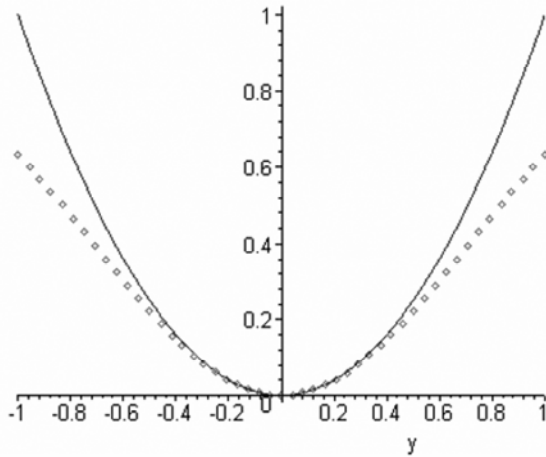


Рис. 7. Сечения поверхностей $F_1(x)$ и $Y_1(x)$ плоскостью $y = y_0$. Точки – $F_1(x, y_0)$; сплошная линия – $Y_1(x, y_0)$

$$x = - \frac{(-a_{11}a_{01} - 12\lambda^2 + a_{11}^2x_0 + 3a_{11}\lambda - 6a_{02}\lambda - 2\lambda a_{11}y_0 + a_{02}a_{10} - a_{02}a_{20}x_0 - 2\lambda a_{20}x_0 + 2\lambda a_{10})}{(-a_{11}^2 + a_{02}a_{20} + 4a_{02}\lambda + 2\lambda a_{20} + 8\lambda^2)}$$

$$y = \frac{(y_0a_{02}a_{20} + 4y_0a_{02}\lambda - a_{20}a_{01} + 3\lambda a_{20} - 4\lambda a_{01} + 4\lambda a_{11}x_0 + 12\lambda^2 + a_{10}a_{11} - a_{11}^2y_0 - 6a_{11}\lambda)}{(-a_{11}^2 + a_{02}a_{20} + 4a_{02}\lambda + 2\lambda a_{20} + 8\lambda^2)}$$

Задавшись интервалом изменения λ , построим решение системы (4) (рис. 9).

Как следует из данного рисунка с увеличением λ приближенное значение отклоняется от точного.

При $\lambda=0,1$ приближенные значения $x(\lambda)$ и $y(\lambda)$ равны

$$x = 0,25; \quad y = 0,136,$$

а точные значения x и y следующие

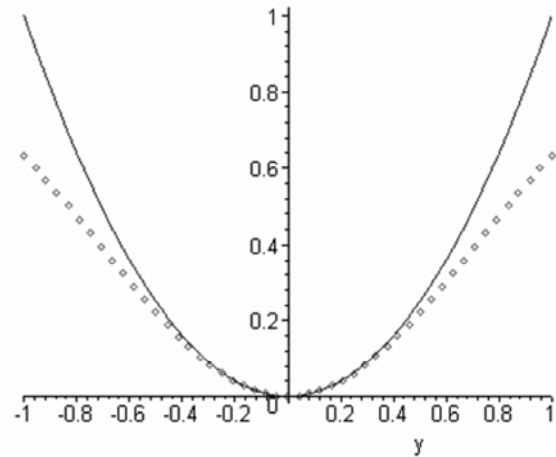


Рис. 8. Сечение поверхностей $F_1(x)$ и $Y_1(x)$ плоскостью $x = x_0$. Точки – $F_1(x_0, y)$; сплошная линия – $Y_1(x_0, y)$

Рассмотрим задачу

$$\begin{pmatrix} F_1(x, y) \\ F_4(x, y) \end{pmatrix} \rightarrow \min,$$

для которой система (4) принимает вид

$$\begin{cases} 2xe^{-x^2-y^2} = -\lambda 4(x-1,5); \\ 2ye^{-x^2-y^2} = -\lambda 2(y-1,5). \end{cases} \quad (5)$$

Если вместо $F_1(x, y)$ взять приближенное значение $Y_1(x, y)$, то аналогом системы (5) будет следующая:

$$\begin{cases} \dot{a}_{10} + \dot{a}_{20}(\tilde{o} - \tilde{o}_0) + \dot{a}_{11}(\tilde{o} - \tilde{o}_0) = -4\lambda(\tilde{o} - 1,5); \\ \dot{a}_{01} + \dot{a}_{02}(\tilde{o} - \tilde{o}_0) + \dot{a}_{11}(\tilde{o} - \tilde{o}_0) = -2\lambda(\tilde{o} - 1,5). \end{cases} \quad (6)$$

В общем виде решение системы (6) представляет собой:

$$x = 0,265; \quad y = 0,139.$$

Взяв в качестве $x_0 = 0,25$; $y_0 = 0,136$ и выполнив квадратичную аппроксимацию функции $F_1(x, y)$ в окрестности данной точки, решаем систему (4) при $0,1 \leq \lambda \leq 0,35$. Этим решением продолжаем решение представленное на рис. 9. Результат данного продолжения на рис. 10.

Как следует из изложенного, при решении системы (4) можно использовать квадратичную аппроксимацию исходных функций и с опреде-

ленным шагом по λ получить достаточно приемлемое по точности решение задачи векторной оптимизации.

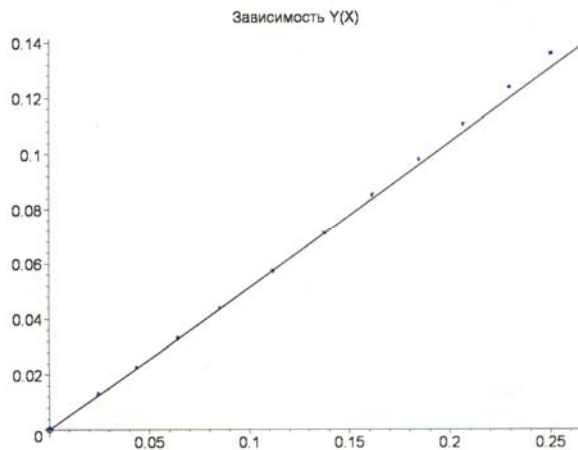


Рис. 9. Решение системы (4). Сплошная линия – точное решение, точки – решение для квадратичной аппроксимации $F_1(x, y)$, при $0 \leq \lambda \leq 0,1$

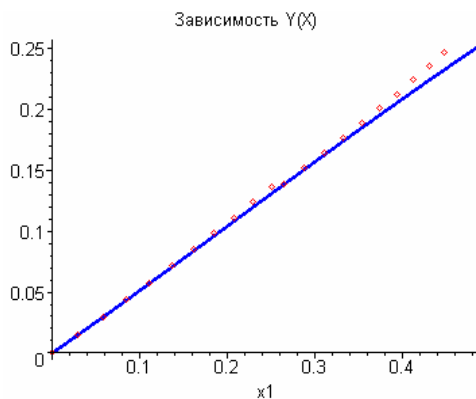


Рис. 10. Решение системы (4). Сплошная линия – точное решение при $0 \leq \lambda \leq 0,35$, точки – приближенное решение

Учитывая, что данный метод будет использоваться в ситуации, когда с помощью эксперимента могут быть получены только значения функций (показателей) в задаче (1) [8], необходимо разработать также метод для выбора точек, в которых будет проводиться эксперимент и процедуру построения множества Парето по экспериментальным данным.

Таким образом, предложено математическое описание выбора рациональных параметров сложных механических систем как в общем виде, так и с учетом особенностей рельсовых экипажей. Это математическое описание может служить теоретической основой для последующего выбора конкретных параметров конструкции и систем гашения колебаний при проектировании новых конструкций рельсовых экипажей, а также для прогнозирования эксперимента по определению различных характеристик рельсовых экипажей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Камаев В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
2. Мямлин С. В. Оптимизация параметров рессорного подвешивания рельсовых экипажей / С. В. Мямлин, А. Н. Пшинько // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2003. – № 9 (67). – С.79–85.
3. Мямлин С. В. Оптимизация параметров рессорных комплектов тележек пассажирского вагона / С. В. Мямлин, А. Н. Пшинько // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізнич. тр-ту ім. акад. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – № 7. – С.47–51.
4. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физматлит, 2002. – 144 с.
5. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
6. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: МПС РФ, 1996.
7. Босов А. А. Производные функции множества // Залізнич. транспорт України. – 2004. – № 4. – С. 16–18.
8. Босов А. А. Функции множества и их применение: Монография. – Днепропетровск: Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.

Поступила в редколлегию 23.03.06.

КОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ ДЛЯ ШВИДКОГО НАВЕДЕННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

Розглянуті основні принципи та методи проектування наплавних мостів. Головна увага приділена гідрологічним аспектам проектування наплавних мостів, як найменш дослідженій області, що має пропуски в нормативній базі. Доведена важливість урахування не тільки максимальних гідрологічних характеристик, але й мінімальних, які представляють один з екстремумів гідрологічного режиму.

Рассмотрены основные принципы и методы проектирования наплавных мостов. Главное внимание уделено гидрологическим аспектам проектирования наплавных мостов, как наименее исследованной области, имеющей пробел в нормативной базе. Доказана важность учета не только максимальных гидрологических характеристик, но и минимальных, которые представляют один из экстремумов гидрологического режима.

Basic principles and methods of planning of floating bridges are considered. Above all attention is spared to the hydrological aspects of planning of floating bridges, as the area of knowledge that is not explore so much. Importance of account is proved not only maximal hydrological descriptions but also minimum, which represent one of features of the hydrological mode.

Наплавні мости будували в давнину і продовжують будувати на всіх континентах. У сучасному мостобудуванні цей вид мостів знаходить широке застосування в США, Норвегії, Росії і деяких країнах Азії. У російській будівельній практиці наплавні мости більше відомі як тимчасові споруди або як мости швидкого наведення при проведенні аварійно-рятувальних робіт в умовах надзвичайних ситуацій (стихійних бід) і військових дій. Також вважається за доцільне їх пристрій на дорогах з низькою інтенсивністю руху транспортних засобів, тобто на дорогах нижчих категорій.

Останнім часом досить активно як у пресі, так і на міжнародних конференціях і симпозіумах обговорюється можливість будівництва мостових переходів значної протяжності через морські протоки: Берінгов (Росія–Америка); Керченський (Крим–Кавказ); Мессіна (Італія–Сицилія); Гібралтар (Іспанія–Марокко); Невельського (Росія–Сахалін). Будівництво вказаних споруд відрізняють виключно складні інженерно-гідрометеорологічні і геологічні умови, глибини заставляння фундаментів опор до 100 м, підвищених вимог морського судноплавства. Очевидно, що за таких умов варіант наплавного моста може виявитися цілком конкурентноздатним.

В теперішній час в практиці проектування і будівництва мостів виник ряд нових характерних напрямів, коли потрібне проведення поглибленого вивчення комплексу питань по великим мостовим переходам із залученням фахівців суміжних спеціальностей (навігація морських водних шляхів, суднобудування, морська гідрологія і метеорологія).

Для великих водних перешкод, до яких відносяться, головним чином, гирла річок при великій

глибині води і мулистому ґрунті дна, морські протоки, пристрій наплавних мостів може бути єдиним економічно і технічно доцільним.

Тому стосовно наплавних мостів виникає додаткова складність, яка виражається у тому, що для обґрунтування пристрою цього типу мостів потрібні не тільки максимальні гідрологічні характеристики, але і мінімальні, які також представляють один з екстремумів гідрологічного режиму.

До теперішнього часу як в світовій, так і в російській практиці накопичено значний досвід проектування, будівництва і експлуатації наплавних мостів. Цей досвід необхідний для використання при розробці нових проектів і подальшого вдосконалення нормативних документів. Разом з тим виявлено, що в даний час в проектних організаціях ослаблені навички проектування наплавних мостів, кількість фахівців, здатних якісно виконати розробку проектної документації, обмежена.

Наплавний міст включає плавучу частину, перехідні і підхідні ділянки (рис. 1). Плавуча частина – це плавучі опори, на які спирається прогінна будова.

Перехідна ділянка це один прогін для сполучення плавучої частини, що має змінний рівень, з підхідною (береговою) ділянкою, що має постійний рівень. Підхідною ділянкою може бути як насип, так і естакада, яка влаштовується біля берегів. Невідомою частиною наплавного мосту є закріплення проти зносу його течією, подовжнім і поперечним вітром або аварійним гальмуванням транспортних засобів на мосту. Як правило, передбачають сумісне подовжнє і поперечне закріплення мосту. При необхідності пропуску судів в наплавних мостах вла-

птовуюють вивідні ланки або розлучні прогони.

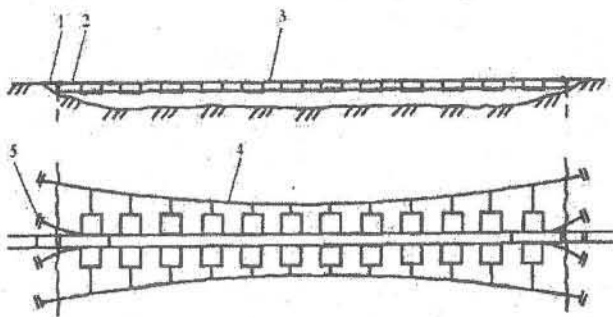


Рис. 1. Схема основних частин наплавного мосту:
1 – берегова (підхідна) частина; 2 – перехідна (з'єднувальна) частина; 3 – річкова (плавуча) частина; 4 – поперечне закріплення; 5 – подовжнє закріплення

Наплавні мости влаштовують через річки з великою глибиною води і слабкими ґрунтами в основі, коли виникають труднощі при будівництві фундаментів мостових опор, які спричиняють додаткові витрати на будівництво. Можливість улаштування наплавних мостів визначається відповідними гідрологічними умовами: малою швидкістю течії; відсутністю хвильової дії, крижаного покриття або наявністю сприятливого льодового режиму. Наплавні мости нерідко влаштовують на дорогах нижчих категорій, а також як тимчасові мости, наприклад, при зведенні постійного мосту на якийсь час його будівництва (рис. 2).

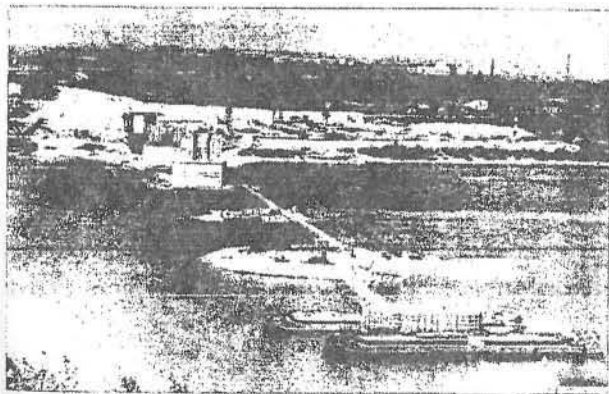


Рис. 2. Тимчасовий наплавний міст для будівництва моста через р. Оку в м. Нижньому Новгороді

Наплавні мости різноманітні за типами, конструктивними ознаками, матеріалами і режимом функціонування у внутрішньорічному і багаторічному періодах.

За конструктивними ознаками наплавні мости прийнято розрізняти за системою річкової частини: розрізна, шарнірна, нерозрізна.

За матеріалом наплавні мости можуть бути дерев'яними, металевими, залізобетонними

або виконаними із комбінації матеріалів.

Плавучими опорами дерев'яних наплавних мостів служать плашкоути (плоскодонні дерев'яні плавучі опори). В опорах металевих наплавних мостів застосовують закриті понтони різної форми (прямокутної, круглої, овальної). Опорами залізобетонних наплавних мостів служать залізобетонні понтони замкнутої конструкції.

По режиму функціонування наплавні мости можуть бути стаціонарними і сезонними. Стаціонарні наплавні мости працюють без перерви протягом всього року. Сезонні наплавні мости розводять на період пропуску паводків і льодоходу.

У сучасній російській практиці наплавні мости найчастіше використовувалися і використовуються як тимчасові, сезонні споруди, як правило, що розбираються на зиму. Достатньо широко наплавні мости застосовуються в ході будівництва постійних мостів і гідровузлів. Для швидкозведених переправ можуть використовуватися понтонно-мостові парки.

Понтонні парки поділяються на самохідні і несамохідні. Основна відмінність полягає у тому, що самохідні парки мають в три рази більше осідання (близько 2 м) і непридатні на мілководді, при швидкій течії.

У сучасній вітчизняній будівельній практиці для проектування наплавних мостів використовуються такі нормативні документи і рекомендації: ДБН В.2.3-14.2006 Мости та труби, правила проектування, Методичні вказівки, Інструкція ПНМ-79, Методичні рекомендації РНМ-79. Інструкція розроблена стосовно проектування наплавних мостів під залізничне навантаження. Як додаток до цієї Інструкції і для сумісного використання складені Методичні рекомендації, які містять методику загального розрахунку наплавних мостів з місцевих плавучих засобів річкового флоту. У них висловлені основні технічні умови проектування наплавних залізничних мостів, правила конструювання, методи розрахункових перевірок остійності, плавучості, загальної міцності. Також в них окреслені особливості проектування мостів на окремих плавучих опорах і мостів-стрічок, представлені алгоритми-прикладні розрахунки наплавних мостів розрізної, нерозрізної і шарнірної систем.

Розглянемо основні технічні нормативи і рекомендації на наявність вимог до розрахунків на дію водного потоку.

На відміну від ДБН В.2.3-14, який не відображає специфіки проектування наплавних мостів на дію водного потоку, Методичні вказівки, Інструкція і рекомендації встановлюють необхідність визначення найвищого і найнижчого рівнів води за період експлуатації; вимоги до

обліку гідродинамічної дії на плавучі опори; регламентують методику перевірки гідродинамічної стійкості моста шляхом обчислення критичних швидкостей перебігу води відносно моста; встановлюють необхідність призначення заходів захисту берегових частин від підмиву.

Методичні вказівки рекомендують визначати найвищий і найнижчий рівні води за період експлуатації із забезпеченістю 20 %. А для переправ, споруджених в особливий період, визначення рівнів потрібно виконувати із забезпеченістю 10 %.

Проте, відзначимо, що дані Методичні вказівки прив'язані до норм для короткострокових споруд, термін служби яких звичайно не перевищує 10 років. Тому для постійних наплавних мостів з терміном служби 75...100 років такий підхід не можна визнати обґрунтованим. Також невизначене поняття – особливий період, коли рівні треба приймати із забезпеченістю 10 %.

Узагальнення зарубіжного і вітчизняного досвіду проектування і експлуатації дозволило сформулювати мету, яка повинна відображатися в критеріях проектування, і встановлювати спеціальні вимоги, які забезпечують ефективність застосування і надійне функціонування наплавних мостів. Основні встановлені вимоги повинні забезпечувати термін служби наплавних мостів – 15...20 років з низькими експлуатаційними витратами, надійним функціонуванням, безпекою і комфортністю проїзду в звичних (регулярних) умовах експлуатації; стійкість при пошкодженнях від катастрофічних навантажень і екстремальних гідрометеорологічних дій; а також у разі окремого пошкодження не повинні бути схильні до ефекту прогресуючого руйнування.

Проектування конструкцій наплавних мостів ведеться на їх навантаження та їх з'єднувань, які регламентовані ДБН В.2.3-14. Проте, наплавні мости мають просторову комбінацію елементів, відмінних від високowodного моста тим, що, окрім регламентованих навантажень, є ще і інші додаткові чинники, що мають гідрометеорологічну природу, що впливають на надійне функціонування всієї споруди: амплітуда коливання рівнів води; перебіг води; вітрові і хвильові дії; приливно-відпливні явища і льодові дії (залежно від місця розташування). Таким чином, працездатність наплавних мостів дуже чутлива до дії гідрометеорологічних чинників.

Проблема визначення амплітуди коливання рівнів води є центральною в обґрунтуванні надійного функціонування наплавного моста. Від величини цієї амплітуди залежать висота моста, довжина підхідної і з'єднувальної частин, відмітки брівки земляного полотна у підхідної частини, тривалість і безперебійність функціонування моста. Проте, рішенню цієї проблеми не

додавалося серйозного наукового значення.

Аналіз діючих норм і рекомендацій, показав, що в них відсутні вимоги до встановлення розрахункової амплітуди коливання рівнів води і не регламентовані методи визначення розрахункових рівнів води. Тому введемо нове поняття – розрахункова амплітуда коливання рівнів води (Д). За А прийматимемо різницю між розрахунковим (максимальним) рівнем високих вод (РРВВ) і розрахунковим (мінімальним) рівнем низьких вод (рис. 3). При піднятті рівня води вище за розрахунковий рівень високої води (РРВВ) або опусканні нижче за розрахунковий рівень низької води (РРНВ) нормальна робота наплавного моста припиняється. Таким чином, встановлюються граничні умови функціонування моста.

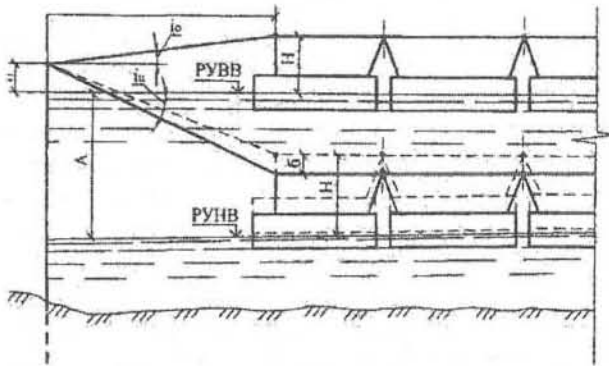


Рис. 3. Схема для визначення розрахункової амплітуди коливання рівнів води: А – розрахункова амплітуда коливання рівня води в річці; б – найбільше осідання точки того, що спирається містка на береговій ланці від тимчасового навантаження; h – висота настилу в'їздів над РРВВ (або над щонайвищим рівнем прийнятої розрахункової амплітуди); H – висота настилу плавучої частини над рівнем води при постійному навантаженні; i – нахил з'єднувальної частини при РРВВ і відсутності тимчасового навантаження; L – нахил при РРНВ за наявності тимчасового навантаження на мосту; L – довжина з'єднувальної частини

Тривалість надійної роботи наплавного мосту безпосередньо пов'язана з вибраними РРВВ і РРНВ і залежить від тривалості перерв. Перерви носять стихійний характер і можуть привести до припинення роботи наплавного моста і відповідно транспортної мережі, на якій він розташований. Розглянемо поняття перерви в роботі наплавного моста детальніше.

Перерви можуть бути очікуваними і незапланованими. Очікувані перерви співвіднесені з періодом проходження весняного і осіннього льодоходів, для цього передбачається розведення мосту, а в окремих випадках його демонтаж. Ці перерви піддаються прогнозу, оскільки наступають щорічно в певний час, і їх можна планувати наперед.

Незаплановані перерви наступають раптово унаслідок значного підйому або спаду рівнів води, які не враховувалися при виборі і обґрунтуванні РРВВ і РРНВ. Такі перерви можуть завдати значного матеріального збитку через простий транспортних засобів.

З практики проектування відомо, що розрахункові рівні води для обґрунтування функціонування наплавного мосту визначали аналогічно методу визначення розрахункового судноплавного рівня води для мостів. Проте знайдені таким методом розрахункові рівні води є тільки першим наближенням. Основу розрахунків складають графіки річного ходу рівнів води за багаторічний період. Цей метод не вимагає встановлення ВП і орієнтований тільки на допустиму величину можливої перерви функціонування. Тоді як сучасні нормативні вимоги встановлюють необхідність дотримуватися заданої вірогідності перевищення, співвіднесеної із ступенем відповідальності споруди.

Дослідженнями характеру емпіричних кривих розподілу вірогідності перевищення рівнів по ряду річок з різними умовами формування і прояву їх середньорічного річкового стоку встановлена необхідність індивідуального підходу до апроксимації цих кривих у вигляді графоаналітичних або графічних залежностей. Також рядом досліджень встановлена можливість застосування параболічних кривих і кривих нормального розподілу ВП для встановлення величин гідрологічних характеристик рідкісної повторюваності. Ці криві достатньо повно відповідають емпіричним точкам річних максимумів і характеру асиметричності емпіричних розподілів.

Встановлення характеристик річних мінімумів (РРНВ) стосовно наплавних мостів є основним завданням. Дослідження цієї спрямованості не проводилися. Тому тут сформулюємо основні відправні моменти.

При будівельному проектуванні використовуються низькі гідрологічні характеристики в інтервалі забезпеченості від 75 до 99%. Звичайно для різних цілей водогосподарського проектування в цьому діапазоні визначаються розрахункові рівні меженних вод. Заздалегідь можна рекомендувати для визначення найбільшої різниці рівнів води, очікуваної за період експлуатації наплавного мосту, наприклад, віднесеного до 2 класу відповідальності, приймати щорічну ВП рівнів води для основного розрахункового випадку 0,5 і 99,5 %.

Швидкість течії води вимагає рішення двох важливих проблем. Перша проблема – надійність закріплення мосту, яка визначається гідродинамічним опором потоку. Друга – стійкість моста в набігаючому потоці, тобто збереження плавучос-

ті при взаємодії моста з водним потоком.

Питання обліку гідродинамічної дії водного потоку стосовно мостів-стрічок типу ПМПІ, графічна залежність гідродинамічного опору від ширини стрічки і вантажопідйомності мосту, а також відстані між вантажами для різних значень швидкості течії і глибини води достатньо добре досліджені. Причому залежності відносяться до наплавних мостів, як обладнаним гидропитами, так і без них.

Надійність закріплення наплавного мосту на течії визначається розрахунком міцності моста на дію вертикального навантаження і горизонтального навантаження від вітрової дії та швидкісного натиску потоку. Графічні залежності дозволяють також визначити допустиму довжину мостів-стрічок з кріпленням берегових кінців відтяжками залежно від гідродинамічного і вертикального навантаження. Крім того, дані рекомендації по вибору схем закріплення мостів відтяжками при рівномірній і нерівномірній течії річки, а також при значній несиметрії положення стрижня потоку відносно берегів.

Вітрові і хвильові дії визначають вибір основних параметрів конструкції наплавного моста. Хвильове навантаження функціонально залежить від швидкості вітру, його напрямку і тривалості, довжини розгону, конфігурації берегової лінії водної перешкоди і глибини води. У світлі сучасних уявлень про безпеку інженерних споруд при проектуванні необхідно розглядати звичні і екстремальні умови експлуатації. Відповідно до Рекомендацій екстремальні штормові умови рекомендовано для вітрових і хвильових дій приймати із забезпеченістю 1 %. Тут же звернемо увагу, що питання поєднання навантажень в умовах їх екстремального прояву мало досліджені, не мають однозначного рішення і єдиного методологічного підходу. Проте, слід визнати за обґрунтовані рекомендації те, що в поєднаннях з екстремальними хвильовими навантаженнями тимчасове навантаження (навантаження від транспортних засобів) не враховується.

На відміну від мостів на капітальних опорах наплавні мости схильні до явища розгойдування більшою мірою. Наплавний міст після проїзду вантажного автомобіля тривалий час скоює повільні коливання. При проході подальших автомобілів під час опускання ланки відбувається збільшення розгойдування. Враховуючи, що власні періоди коливань наплавних мостів можуть бути співставлені з періодами проходження навантажень, динамічний розрахунок набуває визначального значення.

Комплекс інженерних розрахунків при проектуванні наплавних мостів встановлює необхідність обов'язкового виконання динамічних розрахунків з можливим використанням методу скінчених елементів.

При проектуванні також слід встановлювати граничні рівні гідрометеорологічних дій, при перевищенні яких експлуатація моста може бути припинена. Наприклад, для типових конструкцій наплавних мостів такими межами можуть служити висота хвилі більше 1,2 м і швидкість вітру понад 15 м/с.

Проте, на думку авторів статті, при розробці проектної документації необхідно не просто встановлювати обмеження, а передбачати спеціальні заходи на випадок можливого прояву екстремальної дії з оцінкою ступеня ризику перевищення прийнятої межі. Крім того, пропонується доцільним виконувати прогноз можливого прояву гідрометеорологічних чинників в період виробництва будівельних робіт і передбачуваного терміну служби мостової споруди.

Однією з найважливіших експлуатаційних якостей наплавного моста є можливість не тільки вивести зі складу моста ланку або розвести весь міст, але і прибрати при необхідності окремих понтонів, причому без попереднього підведення запасного. При цьому пропуск транспортних засобів по мосту не припиняється. Цим вищезазначеним зручностям експлуатації відповідає шарнірна або нерозрізна системи, тоді як за економічними показниками перевага залишається на боці простої балочно-розрізної системи.

В той час, при споруді наплавних мостів балочно-розрізних систем можуть з'явитися ускладнення, особливо при великій глибині води. У разі втрати плавучості хоч би одного понтона руйнування розповсюджується на два суміжні прольоти. А при виведенні одного понтона необхідна одночасна заміна його запасним, що зв'язано з додатковими труднощами.

Іншою важливою експлуатаційною перевагою є застосування великих прольотів, що забезпечує вільний пропуск весняного льодоходу, зниження експлуатаційних витрат за рахунок меншої кількості плавучих опор, а також підвищену стійкість моста при хвилювих діях.

Підводячи підсумки обговорення обґрунтування найбільш доцільної системи наплавного моста, відзначимо, що при виборі варіанту економічні показники можуть йти в розрізі із перевагами експлуатації. Тому стосовно наплавних мостів оптимізацію схеми доцільно виробляти виходячи з експлуатаційних міркувань.

Наплавні мости є одними з різновидів комплексу водопропускних споруд на діючій транспортній мережі.

Конструктивно-технологічні рішення, транспортно-експлуатаційні якості і гідротехнічні властивості цих споруд багатифункціональні. Вони здатні забезпечити безпечне функціонування в умовах дії паводків і в міжпаводочний (меженний) період.

Не можна не відзначити, що проектування на-

плавних мостів зумовлює необхідність рішення комплексу проблемних питань, що не мають нормативного забезпечення. За складом, цей комплекс навіть ширший за комплекс проектних обґрунтувань будівництва висоководних мостів і має свої специфічні особливості. Так, найбільш важливою характеристикою, що визначає основні конструктивні параметри наплавних мостів, є амплітуда коливання рівнів води. Питання встановлення нормативних критеріїв ВП гідрологічних характеристик вимагають проведення подальших наукових досліджень. Необхідне доповнення і переробка будівельних норм, в яких була б відображена специфіка наплавних мостів, а також розробка методичних і рекомендаційних документів.

Все ж таки практика показує, що, не дивлячись на пропуски в нормативній базі, при серйозному проектному опрацюванні, належної експлуатації наплавні мости є безпечними, ефективними, довговічними, комфортними для руху транспортних засобів мостовими спорудами. Не дивлячись на багато проблемних питань проектування і споруди, цей тип мостів, будучи найдавнішим, що використовувався для перетину водних перешкод, знайде ширше застосування в майбутньому.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методические указания по проектированию плавучих средств / Министерство обороны СССР. – М.: Воениздат, 1979. – 184 с.
2. Инструкции по проектированию железнодорожных наплавных мостов и паромных переправ (ПНМ-79) / Минтрансстрой СССР, ВПТИТрансстрой.: – М., 1980. – 165 с.
3. Телов В. И. Наплавные мосты, паромные и ледяные переправы / В. И. Телов, И. М. Кануком; Под редакцией В. И. Телова. – М.: Транспорт, 1978. – 384 с.
4. ДБНВ.2.3-14.2006. Мости та труби. Правила проектування.
5. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
6. Селиверстов В. А. Нормативные требования и рекомендации по определению факторов гидрометеорологических воздействий и нагрузок для проектирования временных и вспомогательных сооружений / Автомоб. дороги : информ. сб. / Информавтодор. – 1997. – с. 8-31.
7. Наплавной железнодорожный мост НЖИ-56 / Министерство обороны СССР. – Воениздат, 1977. – 341 с.

Поступила в редколлегию 17.03.07.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ДЛЯ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОД ВОДОЙ

В статті наведено дослідження фізико-механічних властивостей розчинів для бетонування під водою. По результатах досліджень реологічних та міцностних характеристик розроблено оптимальні суміші для ін'єктування при ремонті бетонних транспортних споруд під водою.

В статье приведены исследования физико-механических свойств растворов для бетонирования под водой. По результатам исследований реологических и прочностных характеристик разработаны оптимальные составы для инъектирования при ремонте бетонных транспортных сооружений под водой.

In the article are brought studies a physicist-mechanical characteristics an dissolves for concreting under water. On results of studies movable and toughness features is designed optimum compositions for filling under pressure at the concrete transport erecting repair under water.

Введение

Таблица 1

Актуальность вопросов связанных с восстановлением транспортных сооружений под водой подтверждена проведенными раньше предварительными исследованиями [1–3].

Основными нерешенными вопросами являются вопросы оптимизации разработанных растворов по реологическим и прочностным характеристикам, исследование эксплуатационных свойств и технологические особенности применения разработанных составов.

Цель исследований

Основной целью исследований описанных в статье является оптимизация реологических и прочностных свойств разработанных растворов.

Результаты исследований

С целью разработки оптимальных составов для проведения инъекционных работ был составлен ортогональный план, где варьируемыми факторами являлись количество цемента, пластификатора и наполнителя в растворе табл. 1

После назначения составов растворов согласно данным табл. 1 проводились исследования подвижности растворной смеси, прочности на сжатие и изгиб растворного камня и выбирались оптимальные составы.

Готовились растворные смеси, на которых определялась подвижность прочности на сжатие и изгиб растворного камня по стандартным методикам. На основании экспериментальных данных были рассчитаны параметры принятой модели, отражающие свойства растворной смеси и растворного камня.

**Варьируемые факторы первого
планированного эксперимента**

№ соста- ва	X ₁ /Ц, кг/м ³	X ₂ /ПКМ, кг/м ³	X ₃ /ПГВФ, кг/м ³
1	-1/450	-1/0	-1/0
2	+1/650	-1/0	-1/0
3	-1/450	+1/16	-1/0
4	+1/650	+1/16	-1/0
5	-1/450	-1/0	+1/90
6	+1/650	-1/0	+1/90
7	-1/450	+1/16	+1/90
8	+1/650	+1/16	+1/90
9	0/550	0/8	0/45
10	0/550	0/8	-1/0
11	0/550	0/8	+1/90
12	0/550	-1/0	0/45
13	0/550	+1/16	0/45
14	-1/450	0/8	0/45
15	+1/650	0/8	0/45

На основании полученных моделей были построены графики для анализа и выбора оптимальных составов для дальнейших исследований. Один из графиков приведен на рис. 1.

Сравнение экспериментальных данных с данными изолиний построенных по моделям, показали, что их отклонение находится в пре-

делах 4–8%, что позволяет считать полученные модели адекватными.

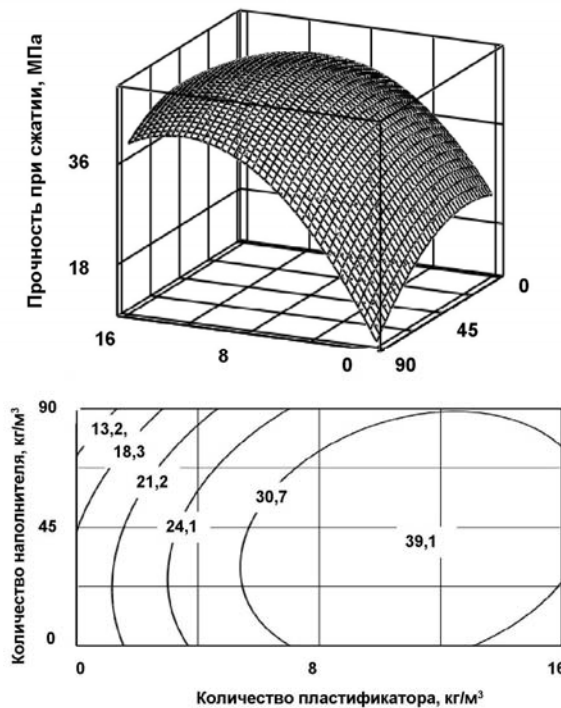


Рис. 1. Влияние количества пластификатора ПКМ и наполнителя на прочность при сжатии растворного камня в возрасте 28 суток, твердевшего в воде, при постоянном количестве цемента равном 450 кг/м³

В табл. 2 приведены предельные значения составляющих и свойств растворов с пластификатором ПКМ, полученным на основании анализа графиков, построенных благодаря разработанным моделям.

Проведенные эксперименты позволили получить достаточно полное представление о реологических и прочностных характеристиках растворной смеси и камня. Однако для того чтобы утверждать о целесообразности их применения для восстановления бетона транспортных сооружений способом инъектирования под водой целесообразно произвести дополнительные исследования растворного камня в различных условиях эксплуатации.

Таблица 2

Предельные значения составляющих и свойств растворов с пластификатором ПКМ

Наименование показателя	Показатели
Количество цемента, кг/м ³	470–566
Количество пластификатора, кг/м ³	7–15
Количество наполнителя–ПГПФ, кг/м ³	35–75
Количество воды–ПГПФ, кг/м ³	290–370
Количество песка, кг/м ³	остальное
Подвижность, см	12–19
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток при твердении в воде, МПа	28–39

Выводы

В результате проведенных исследований:
- оптимизированы реологические прочностные свойства разработанных растворов. На основании проведенного анализа результатов экспериментов выбраны оптимальные составы по реологическим и прочностным показателям.
- разработаны модели, отражающие реологические и прочностные характеристики растворов и позволяющие их оптимизировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснюк А. В., Засць Ю. Л., Лисняк В. П., Момот В. О. Дослідження матеріалів для ремонту бетонних та залізобетонних транспортних споруд / Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение, вып. № 30. – Дн-ск: ПГАСА, 2004. – С. 148–152.
2. Момот В.А. Анализ вопросов применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 11. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – С. 217–219.
3. Момот В. О. Розробка високорухливих розчинів для ремонту бетонних та кам'яних транспортних споруд способом підводного ін'єктування / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 12. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – С. 137–139.

Поступила в редколлегию 02.04.2007.

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Запропонований високоефективний метод вирішення задачі реалізації будівельної продукції, з урахуванням міжсистемних зв'язків, охоплюючий питання поставки сировини, транспортні умови, об'єми виготовлення продукції, її розподіл по споживачам і ціни збуту.

Предложен высокоэффективный метод решения задачи реализации строительной продукции, с учетом межсистемных связей, охватывающий вопросы поставки сырья, транспортные условия, объемы изготовления продукции, ее распределение по потребителям и цены сбыта.

Very effective method of solving a problem of realisation a building production, is offered. It includes oversystem communications, covers the problems of material's delivery, transporting terms, volumes of making products, it's distribution among uses and saling prizes (prizes of sale).

Введение

В задачах такого рода требуется найти оптимальное решение с целью удовлетворения заданного спроса при этом общая сумма текущих и единовременных затрат на производство и перевозки продукции должна быть минимальна. Одновременно с решением этой общей задачи, как один из его частных результатов, определяется оптимальное решение перевозок продукции. С народнохозяйственной точки зрения безразлично, за счет чего будет достигнут минимум, для государства безразлично, где именно достигается экономия; требуется достичь не минимума затрат только на производство или только на транспорт, а минимума совокупных затрат. Здесь учитывается уже элемент системности, т. е. совместная и согласованная работа (синергическая характеристика системы).

При решении такой необходимой и непростой задачи следует учитывать большое множество самых разнообразных факторов и обстоятельств. При этом следует последовательно и неуклонно соблюдать принцип единственности критерия оптимальности. Должно быть совершенно ясно, что оптимальной является только стратегия, обеспечивающая минимум затрат, причем если вариант кажется «неприемлемым» по каким-то другим соображениям, но их следует учесть в критерии и ограничениях.

Как известно [2], критериям оптимальности присущи наиболее важные характеристики.

Во-первых, критерий оптимальности должен измерять подлинную эффективность системы. Во-вторых, критерий должен выражаться количественно. В-третьих, критерий оптимальности для решаемой задачи должен быть один (в разных задачах могут быть частные крите-

рии, но они должны быть подчинены общему критерию эффективности). В-четвертых, значение критерия должно определяться достаточно точно без больших затрат средств и времени. В-пятых, критерий должен обеспечить учет всех существенных сторон. И в-шестых, критерий должен иметь физический смысл, что делает его понятным и осязаемым, а также облегчает сравнение идеальной и реальной характеристик.

Рассматриваемая одна из экономикоматематических моделей задачи интеграции имеет четко установленный критерий оптимальности, определяющий цель решения и экстремальную функцию. Кроме этого определена система ограничений. Учет как можно большего числа факторов повышает достоверность результатов. Однако большое число факторов сильно усложняет саму модель так и последующие расчеты. Учет тех или иных факторов существенно влияет на возможность использования известных методов.

Используемые модели не учитывают варианты, условия и объемы обеспечения системы сырьем, здесь же следует и учесть транспортные условия доставки сырья. Формирование моделей с учетом приведенных обстоятельств усложняет их, однако делает модели более полными. Кроме учета условий поставок сырья, к недостаткам таких моделей следует отнести отсутствие изменения границ мощностей предприятий (вариантности).

В современных условиях приватизации, выпускаемая промышленная продукция должна сбываться потребителям с учетом рыночного спроса, т. е. цену определит рынок, однако «плавающие» цены следует ориентировать на определенные условия, которые необходимо прогнозировать. Поэтому после производства продук-

ции следует иметь четкое представление о путях ее движения, количественных соотношениях, целесообразности поставки в эффективные пункты с учетом требований маркетинга.

Все названное требует конструирования таких моделей, которые бы отражали сущность системы, т. е. охватывали бы все имеющиеся «ничейные» зоны и стороны ее функционирования, условия и ограничения. Критерием оптимальности задачи остается минимизация совокупных затрат.

Модель должна дать ответ: 1. Где следует закупать сырье каждому предприятию системы и сколько. 2. Какой объем продукции следует выпускать каждому предприятию. 3. Какой объем продукции необходим каждому получателю. 4. Куда следует каждому предприятию отправлять свою продукцию. 5. По каким ценам продавать продукцию. Здесь закладываются требования учета межсистемных связей, логистического и системотехнического подходов.

Цель составления модели заключается в приведении задачи к виду, допускающему ее количественное решение. В конечном итоге задача должна быть описана такой системой уравнений и неравенств, чтобы для ее решения можно было применить известный метод. В этом и состоит главная трудность.

Предлагаемый подход к построению модели исходит из того, что целое всегда обладает такими свойствами, которых нет у его частей.

Вследствие новизны разрабатываемого метода оценки решений необходимо рассмотрение его места в общей теории систем (ОТС), теоретическая часть которой включает кибернетику, теорию исследования операций, теорию информации, теорию решений, теорию игр, теорию графов, теорию сетей, топологию, факторный анализ, системный анализ, системотехнику и др. Часть ОТС, занимающаяся исследованиями технических систем, называется системотехникой [1], как научно-техническая дисциплина, охватывает вопросы проектирования, создания (реализации) и эксплуатации сложных систем. Дальнейшее развитие любой отрасли техники невозможно без применения математического аппарата системотехники и принципов системного подхода и логистики к проблемам проектирования.

Таким образом, в нашем подходе к разработке модели интеграции производства учитываются межсистемные связи, которые при традиционных подходах не могли быть введены в условия задачи. Они находились в «ничейных» зонах и были трудно формализуемы.

Критерием оптимальности решения является минимизация стоимости всего процесса, объединяющего моделью производства как ориентированной сети.

Постановка задачи

Общая постановка задачи формулируется в виде специальной задачи оптимального программирования. Задача минимизации суммарной стоимости потока в сетях с ограниченной пропускной способностью формулируется следующим образом [2–4].

Дана сетевая модель $(i, j) \in A$, F_{ij} , L_{ij} , C_{ij} , требуется найти решение (f_{ij}, π_i) , которое минимизирует целевую функцию:

$$L(f) = \sum_A C_{ij} f_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях на пропускную способность дуг:

$$f_{ij} \leq F_{ij}, (i, j) \in A \quad (2)$$

$$f_{ij} \leq L_{ij}, (i, j) \in A \quad (3)$$

Для того, чтобы количество продукта, поступающего в узел, равнялось количеству продукта, выходящего из этого узла, требуется выполнение условия сохранения потока:

$$\sum_i f_{ji} - \sum_i f_{ij} = 0 \text{ для всех } i \in U, i \neq j \quad (4)$$

Задача определения оптимального потока, соответствующего циркуляции минимальной стоимости, представлена в виде специальной задачи оптимального программирования (1÷4). Это и есть основная формулировка для описания алгоритма исключения дефекта – АИД. Используем условия оптимальности, которые вытекают из природы теории двойственности оптимального программирования. Перепишем условие (1) в виде

$$L(f) = \sum_A^N -C_{ij} f_{ij} \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\sum_i f_{ij} - \sum_i f_{ji} = 0,$$

для всех $i \in U$ (условие сохранения потока),
 $f_{ij} \leq F_{ij}$ (ограничение на потоки сверху);
 $-f_{ij} \leq -L_{ij}$, (ограничение на потоки снизу);
 $f_{ij} \geq 0$ (условие неотрицательности потока).

Для условия описания АИД целевая функция умножена на -1 . Задача минимизации преобразовалась в задачу максимизации, и будем рассматривать ее как прямую задачу. Согласно известному в линейном программировании результату, для любой прямой задачи существует соответствующая ей двойственная задача. В нашем случае она формулируется следующим образом.

Минимизировать целевую функцию

$$Z(x) = \sum_A F_{ij} \alpha_{ij} - \sum_A L_{ij} \delta_{ij} \rightarrow \min$$

при условии, что $\pi_i - \pi_j + \alpha_{ij} - \delta_{ij} \geq -C_{ij}$, для всех $(i, j) \in A$. π_i не имеет ограничений по знаку для всех $i \in U$. $\alpha_{ij} \geq 0$, $\delta_{ij} \geq 0$, для всех $(i, j) \in A$.

Переменные π_i соответствуют ограничениям, описывающим условие сохранения потока для прямой задачи, и могут принимать произвольные значения, поскольку эти ограничения имеют вид равенства. Переменные α_{ij} в двойственной задаче соответствуют ограничениям сверху на потоки по дугам в прямой задаче (двойственные переменные F_{ij}), а переменные δ_{ij} – ограничениям снизу (двойственные переменные L_{ij}). Каждой переменной f_{ij} в прямой задаче соответствует некоторое ограничение в двойственной задаче.

Для чего необходим переход от решения задачи к двойственной? Это объясняется двумя обстоятельствами. Прямая задача трудно приводится к каноническому (стандартному) виду, поскольку ограничения (2), (3) имеют двухсторонний характер и при больших размерах задачи (а реальные задачи именно такими являются) это становится проблематичным и необходимо решать так называемую М-задачу.

Двойственная задача имеет базисное решение, но в нашем случае она сводится к сетевой на графах и сетях, где определяется поток минимальной стоимости на основе алгоритма исключения дефекта (АИД), процедуры, аналогичной симплекс-методу в теории ЛП.

Покажем на примере процедуру работы алгоритма (АИД). Дана матрица, табл. 1. Требуется определить оптимальное решение, связанное с использованием теории двойственности. Исходный вариант показан на рис. 1, оптимальное решение с использованием АИД приведено на рис. 2, анализ результатов приведен в табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные задачи						
i	Источник					
	–	–	5	6	7	8
	–	–	120	60	40	80
Работы, бригады	2	140	5	7	9	7
	3	70	11	7	3	5
	4	20	5	3	9	5

Таблица 2

Результаты анализа переменных двойственной задачи

№ работ	Узловые значения		C_{ij}	α_{ij}	δ_{ij}	$\alpha_{ij} F_{ij}$	$\delta_{ij} L_{ij}$	f_{ij}
	π_i	π_j						
1	0	0	0	–	–	–	–	140
2	0	2	0	2	–	140	–	70
3	0	2	0	2	–	180	–	90
4	0	5	5	–	–	–	–	120
5	0	5	7	–	–	–	–	0
6	0	5	9	–	–	–	–	0
7	0	7	7	–	–	–	–	20
8	2	5	11	–	–	–	–	0
9	2	5	7	–	–	–	–	0
10	2	5	3	–	–	–	–	40
11	2	7	5	–	–	–	–	30
12	2	5	5	–	–	–	–	0
13	2	5	3	–	–	–	–	60
14	2	5	9	–	–	–	–	0
15	2	7	5	–	–	–	–	30
16	5	0	0	–	5	–	600	120
17	5	0	0	–	5	–	300	60
18	5	0	0	–	5	–	200	40
19	7	0	0	–	7	–	560	80
20	0	0	0	–	–	–	–	300
Итого	–	–	–	–	–	320	1660	–

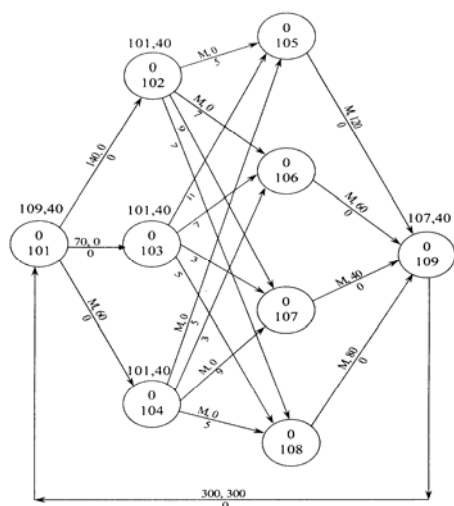


Рис. 1. Начальное решение в сетевой структуре

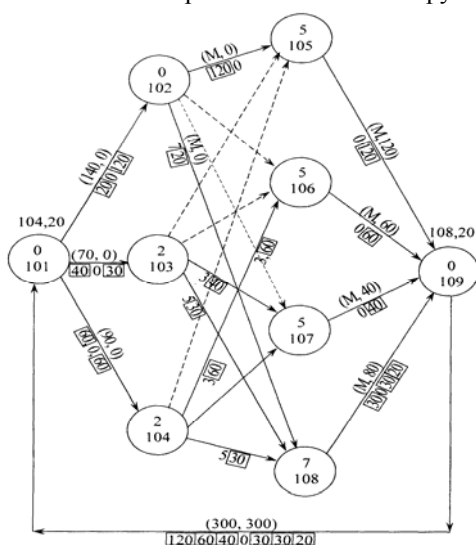


Рис. 2. Оптимальное решение

Вывод

В результате выполненного исследования по размещению, и развитию, и интеграции производства предложен новый подход к разработке модели в составе подготовки производства. Научно-технический уровень исследований в сравнении с аналогами и традиционными приемами отличается новизной, связанной с учетом межсистемных связей в подходе формирования структуры сетевой модели, охватывающей вопросы поставки сырья, ее транспортные условия, объемы изготовления продукции, ее распределения по потребителям и цены сбыта [2].

Предложен высокоэффективный метод решения задачи на основе алгоритма исключения дефекта (АИД), позволяющий получить одновременно с неизвестными прямой задачи переменные двойственной задачи, что дает возможность оценить реальность решений путем сравнения целевых функций, значения которых всегда должны совпадать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь / Под ред. А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 1999. – 432 с.
2. Павлов И. Д. Модели управления проектами : Учеб. пособ. / А. В. Радкевич. – Запорожье: ГУ «ЗИГМУ», 2004. – 320 с
3. Филлипс Д. Методы анализа сетей / А. Гарсиа-Диас. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
4. Форд Л.Р. Поток в сетях / Д. Фалкерсон. Пер. с англ. - М.: Мир, 1966. – 276 с.

Поступила в редколлегию 27.03.2007.

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК (ДИИТ), В. В. ПАЛИЙ (Укрзалізниця)

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

У статті наведено аналіз стану будівель та споруд, що експлуатуються на залізничному транспорті в Україні. Описано основні властивості відомих розчинів, що можуть застосовуватись для ремонту транспортних будівель та споруд. Показані переваги використання в якості ремонтних матеріалів полімерцементних та цементно-полімерних розчинів.

В статье приведен анализ состояния зданий и сооружений, которые эксплуатируются на железнодорожном транспорте в Украине. Описаны основные свойства известных растворов, которые могут применяться для ремонта транспортных зданий и сооружений. Показаны преимущества применения в качестве ремонтных материалов полимерцементных и цементно-полимерных растворов.

In the article is brought analysis of condition of buildings and erecting, which are used on the rail-freight traffic in the Ukraine. Described main known dissolves, which are to be use for the transport building repair and buildings. Shown advantages of using as repair material polymer-cement and cement –polymer dissolves.

Введение. Известно, что на железных дорогах Украины эксплуатируется около 20 тыс. зданий и сооружений, которые обслуживаются подразделениями Главного управления строительно-монтажных работ и гражданских сооружений «Укрзалізниця» (ЦБМЕС). Как показали результаты последних натурных обследований более 36 % зданий и сооружений эксплуатируются с просроченными сроками капитального ремонта. Среди этих объектов значительную долю занимают вокзалы и платформы. Следует отметить, что эти объекты наиболее активно эксплуатируются и от эффективного и качественного их ремонта зависит, как безопасность пассажиров, так и их психологическое настроение при перемещении по железным дорогам Украины.

Сегодня в развитых странах Европейского Союза (ЕС) активно развивается скоростной железнодорожный транспорт, и в связи с этим проводятся работы по ремонту и реконструкции зданий и сооружений по пути следования скоростных поездов. В результате повышенных динамических и механических воздействий, связанных со скоростным движением, ряд элементов зданий и сооружений подвержены интенсивному износу. Поэтому, перед учеными появляются ряд вопросов связанных с эффективным ремонтом зданий и сооружений при высокоскоростном движении.

Разработано достаточное количество способов проведения ремонтных работ, однако на сегодняшний день актуальными остаются вопросы, связанные с выбором эффективных материалов для ремонта зданий и сооружений [1].

Задачи исследования. Исходя из выше изложенного можно сформулировать задачи исследований:

- провести анализ материалов, которые можно использовать для восстановления и ремонта зданий и сооружений, эксплуатируемых на железнодорожном транспорте Украины;
- выбрать тип материалов, которые целесообразно исследовать в дальнейшем для разработки эффективных ремонтных составов.

Результаты исследований. В большинстве случаев, как показывают сметные расчеты, восстановление существующих конструкций составляет 10...30 % от их стоимости, таким образом, восстановление конструкций экономически более выгодно, чем их замена или установка разгружающих элементов. Причем, при замене конструкций добавляются еще расходы, связанные со вскрытием и демонтажем поврежденных конструкций.

Однако восстановление каменных и бетонных конструкций с нарушенной сплошностью связано с трудностями в обеспечении монолитного и надежного соединения нового материала со старым. Проблема осложняется также и тем обстоятельством, что выбор общеизвестных материалов, которые можно эффективно использовать для восстановления монолитности бетона и камня, довольно ограничен. Наиболее часто применяются материалы на тех же видах вяжущих и заполнителях, что и подлежащая восстановлению конструкция [1; 2]. Для ремонтно-восстановительных работ зданий и сооружений наиболее широко применяются портландцементы и глиноземистые цементы. Одна-

ко некоторые разновидности портландцемента – шлакопортландцемент, пуццолановый и сульфатостойкий портландцементы характеризуются низкой морозостойкостью, большой усадкой, низкой стойкостью к попеременному увлажнению и высыханию, а также медленным твердением при нормальной температуре.

Глиноземистый цемент значительно дороже портландцемента и используется при аварийных и срочных работах. На основе глиноземистого цемента выпускают основные виды расширяющихся цементов: гипсоглиноземистый и водонепроницаемый. Особенностью этих цементов являются короткие сроки схватывания, начало не ранее 4 мин, конец – не позднее 10 мин с момента затворения водой, а марочная прочность глиноземистого цемента достигается уже через трое суток. Своеобразным в твердении глиноземистого цемента является резко отрицательное влияние на прочность температур выше 25...30 °С, а также падение прочности при смешивании глиноземистого цемента с известью или портландцементом. В связи с этим, глиноземистый цемент рекомендуется применять при ремонте конструкций, бетон которых изготовлен на глиноземистом цементе.

Быстротвердеющие (БТЦ) и сверхбыстротвердеющие (СБТЦ) портландцементы позволяют через 6 часов после затворения водой получать прочность до 10 МПа. Однако, вследствие высокой дисперсности и высокого содержания активных клинкерных материалов, эти цементы способны, адсорбируя влагу и двуокись углерода из воздуха, быстро терять даже в процессе кратковременного хранения исходные качественные характеристики.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что используемые для восстановления монолитности каменных и бетонных конструкций материалы на минеральных вяжущих имеют ряд недостатков, основными из которых являются: невозможность получения равнопрочного соединения поврежденных материалов, сравнительно низкая механическая прочность и стойкость к агрессивным воздействиям, длительные сроки твердения, невозможность регулирования прочностных и деформативных параметров. Эти недостатки неорганических вяжущих потребовали поиска более эффективных материалов для восстановления монолитности камня и бетона.

Проводилось много исследований, направленных на улучшение характеристик цементных композиций, в частности, повышения сцепления со строительными материалами и уве-

личения прочности на растяжение. Для этих целей использовались различные органические и полимерные добавки. Однако, основным препятствием в применении таких растворов, является вымывание добавок при воздействии воды, а также набухание и усадка органической и полимерной составляющей при периодическом увлажнении и высушивании, что приводит к возникновению значительных внутренних напряжений, и тем самым является причиной невысокой долговечности таких модифицированных растворов, подверженных атмосферным и влажностным воздействиям.

Ряд исследований показали, что для ремонта и восстановления транспортных зданий и сооружений эффективно применять полимеррастворы [3; 4].

Полимеррастворы являются искусственными строительными конгломератами, полученными при совмещении синтетических связующих с минеральными наполнителями и заполнителями мелких фракций. Полимерное связующее образуется при совмещении низковязких синтетических смол, мономеров или олигомеров с тонкодисперсными минеральными наполнителями, отвердителями и всевозможными модифицирующими добавками. Полимерные связующие могут иметь самостоятельное применение в качестве клеев, мастик и замазок. Наполнителями связующих служат тонкодисперсные минеральные порошки с удельной поверхностью 1000...6000 см²/г. Заполнителями служат песок с крупностью зерен до 5 мм.

Полимеррастворы как высоко наполненные полимерные композиции могут быть получены практически на любых синтетическом связующем, наполнителе и заполнителе. Однако в силу различных причин, в том числе связанных со стоимостью и дефицитностью, а также тех требований по плотности, прочности, деформативности, химической стойкости и ряду других характеристик, которые предъявляют к полимеррастворам, определенся сравнительно небольшой круг (12...15 видов) полимерных связующих, наиболее распространенных при производстве полимеррастворов как в СНГ так и за рубежом.

При изготовлении полимеррастворов в СНГ в основном используются термореактивные смолы типа эпоксидных, фурановых, фураново-эпоксидных, полиэфирных, фенолоформальдегидных, карбамидных, ацетоноформальдегидных, значительно реже термопластичные типа инденкумароновых, мономеров винилового ряда и др. [3; 4].

Значительный интерес для ремонта и восстановления зданий и сооружений представляют эпоксидные (ЭД-16, ЭД-20 и др.), фурановые полимеррастворы на основе смол ФА, ФАМ и карбамидные смолы.

Существенно распространены полимеррастворы на основе эпоксидных смол. Их применяют для защитных штукатурок бетонных поверхностей, покрытия полов и т. д. Адгезия раствора к бетону 3...6 МПа. Защитную штукатурку наносят по металлической сетке для обеспечения длительного сцепления с бетоном. Основным недостатком является их высокая стоимость и снижение долговечности при эксплуатации на открытом солнце.

Однако полимеррастворы в 10...30 раз дороже традиционных цементных растворов и для их применения нужно весомое технико-экономическое обоснование.

Проведенные предварительные исследования позволяют сделать вывод, что по целому ряду эксплуатационных свойств полимеррастворам не уступают полимерцементные и цементно-полимерные растворы. Полимерцементные и цементно-полимерные растворы отличаются более высокими прочностными показателями в сравнении с традиционными цементными растворами и бетонами, повышенным сцеплением со всеми строительными материалами, имеют повышенную стойкость к истиранию и морозостойкость. [1; 3; 4]. Кроме того эти растворы не значительно дороже цементных, а технологически наносятся также и не требуют затрат на разработку новых способов ремонта и восстановления транспортных зданий и сооружений. Поэтому целесообразно провести детальные исследования связанные с разработкой модифицированных полимерце-

ментных и цементно-полимерных растворов для ремонта зданий и сооружений на железнодорожном транспорте.

Выводы. Проведенный анализ состояния зданий и сооружений на железнодорожном транспорте позволил выбрать основные пути решения проблем по их ремонту и восстановлению.

Проанализированы наиболее эффективные материалы для проведения ремонтных и восстановительных работ.

Из проведенного анализа и предварительных исследований для дальнейших исследований и разработки оптимальных составов для ремонта и восстановления гражданских зданий и сооружений, которые эксплуатируются на железнодорожном транспорте, были выбраны полимерцементные и цементно-полимерные растворы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений: Монография. – Д.: Пороги, 2000. – 411 с.
2. Краснюк А. В., Заєць Ю. Л., Лисняк В. П., Момот В. О. Дослідження матеріалів для ремонту бетонних та залізобетонних транспортних споруд / Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение, вып. № 30. – Д.: ПГАСА, 2004. – С. 148–152.
3. Соломатов В. И., Бобрышев А. Н., Химмлер Н. Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
4. Патуроев В. В. Полимербетоны / НИИ бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1987. – 286 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2007.

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, Т. В. УЛЬЧЕНКО (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕМОНТНЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ АЛКИЛРЕЗОРЦИНА

У статті наведені властивості розчинів для ремонту й відновлення транспортних споруд, що експлуатуються в умовах впливу ґрунтових вод. Підтверджується доцільність застосування полімерних матеріалів лужного отвердження для пристрою протифільтраційних екранів з метою підвищення міцності зчеплення ін'єкційних розчинів з бетоном споруд спеціального призначення, що експлуатуються в обводнених умовах. Представлені результати експериментальних досліджень, підтверджуючі позитивні властивості довговічності досліджуваних розчинів.

В статье приведены свойства растворов для ремонта и восстановления транспортных сооружений, эксплуатирующихся в условиях воздействия грунтовых вод. Подтверждается целесообразность применения полимерных материалов щелочного отверждения для устройства противофильтрационных экранов с целью повышения прочности сцепления инъекционных растворов с бетоном сооружений специального назначения, эксплуатирующихся в обводненных условиях. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие положительные свойства долговечности исследуемых составов.

The properties of the mortars for repairing transport constructions operated upon subsoil water effect are given in the article. Advisability of using polymeric alkali binding materials as impervious barrier is proved. Experimental results confirming positive properties of durability of investigated materials are presented.

В современных условиях в большинстве случаев при эксплуатации транспортных сооружений отмечается коррозионное воздействие окружающей среды, которое ужесточается в зоне переменного действия воды. При частичном нахождении ремонтируемого бетонного сооружения в жидкой агрессивной среде на движение растворов в поровой структуре основное влияние оказывают процессы, происходящие на поверхности бетона, находящейся на воздухе. В этом случае интенсивность коррозии зависит от кинетики проникания агрессивных компонентов в бетон, которая определяется с одной стороны интенсивностью испарения воды, а с другой стороны – капиллярной проницаемостью бетона, которая может быть снижена за счет нанесения защитного слоя полимерного раствора на основе алкилрезорцина. Это приведет к повышению стойкости материала сооружения, эксплуатирующегося в условиях капиллярного подсоса растворов солей [1; 2]

Долговечность инъекционных растворов. Долговечность инъекционных растворов определялась по морозостойкости, стойкости к попеременному увлажнению и высушиванию, стойкости против действия агрессивных сред, водонепроницаемости.

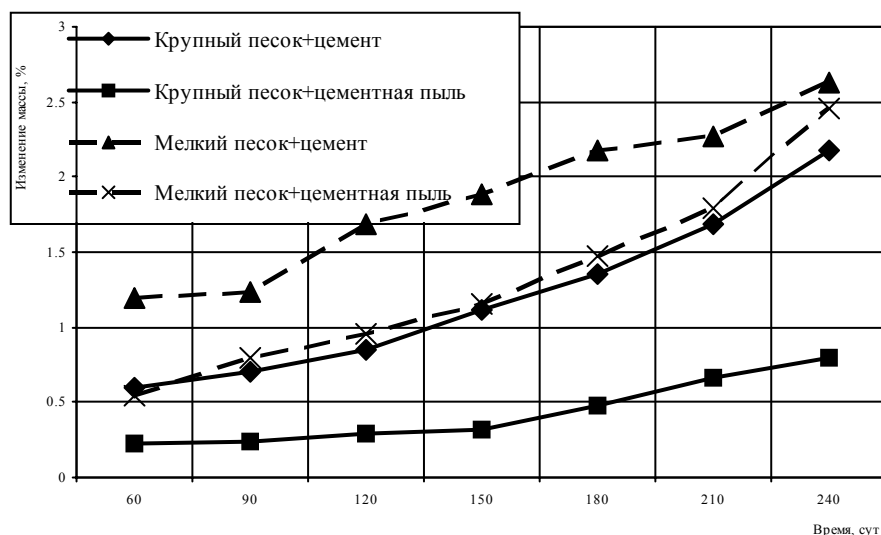
Грунтовые воды Приднепровского региона классифицируются как гидрокарбонатно-сульфатные с концентрацией иона SO_4^{2-} от 200 до 1600 мг/л. С целью ускорения коррозионных процессов исследования коррозионной стойко-

сти раствора на основе алкилрезорцина в условиях капиллярного подсоса проводились в растворах Na_2SO_4 с концентрацией иона SO_4^{2-} 34000 мг/л (5 % раствор Na_2SO_4). [3]

Исследования проведены на образцах-призмах из раствора на основе алкилрезорциновой смолы размером 7х7х22 см с различными наполнителями, твердевших в нормальных условиях и во влажной среде. Образцы погружали в раствор на глубину 5 см. В процессе испытаний контролировались изменение массы, высота образующихся высолов и состояние поверхности образцов. Испытания прекращали при потере прочности образцами на 15 % и массы на 5 %. Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 1

Установлено, что условия твердения образцов раствора практически не оказывают отрицательного влияния на коррозионную стойкость, что подтверждает ранее полученные результаты о стабильности физико-механических свойств полимерного раствора, твердевшего в нормальных условиях и во влажной среде. В отличие от этого, вид наполнителя влияет на коррозионную стойкость раствора на основе алкилрезорцина, повышая ее при введении цементной пыли. Несмотря на то, что высота высолов на образцах с цементом и цементной пылью имеет приблизительно один и тот же уровень (разница составляет 2-3 см), характер образования этих высолов, как показывают дальнейшие исследования, различный.

a



б

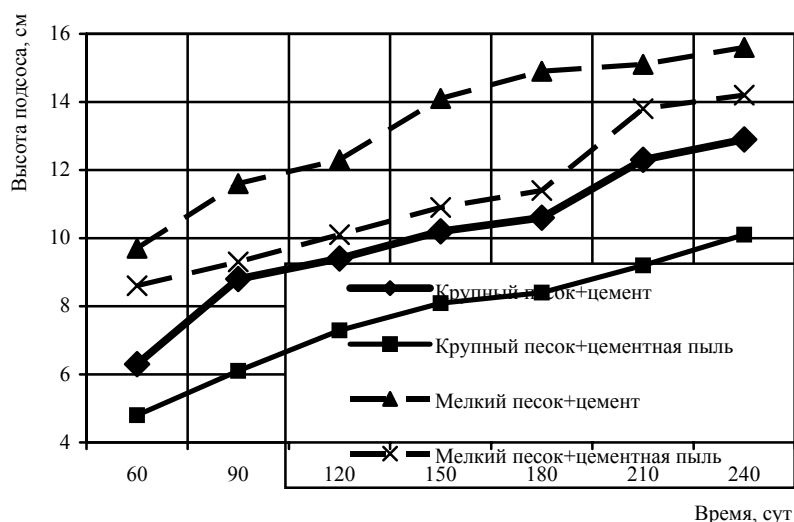


Рис. 1. Стойкость полимерного раствора в условиях капиллярного подсоса 5 % раствора сульфата натрия:
a – высота подсоса жидкости в образцах; *б* – увеличение массы образцов

Так, прирост массы у образцов раствора на мелком песке значительно выше, чем у образцов на крупном песке (рис.1), что свидетельствует о более интенсивном процессе накопления солей в первом случае. Разрушение образцов раствора на основе алкилрезорцина различного состава в течение всего времени испытаний носило лишь характер шелушения, различаясь толщиной отслоений. Это свидетельствует о том, что движение раствора сульфата натрия происходит, в основном, по поверхности образца. В образцах с заполнителем из мелкого песка агрессивный раствор проникает на несколько большую глубину (до 15 см), что вы-

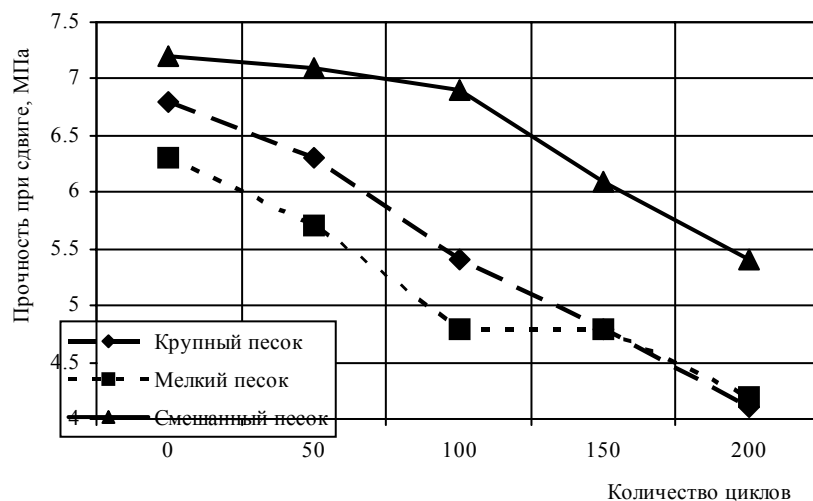
зывает его отслоение. Таким образом, можно заключить, что применение крупного песка и цементной пыли в качестве наполнителя при приготовлении полимерного раствора на основе алкилрезорцина позволит повысить сульфатостойкость восстанавливаемого сооружения.

Для количественной оценки стойкости полимерного раствора циклическим изменениям температуры проведены аналогичные испытания разработанных составов на основе алкилрезорцина на металлических образцах при испытании их на сдвиг после 50, 100, 150 и 200 циклов по приведенной ниже методике. Стойкость к попеременному увлажнению и высушива-

нию определялась по потере прочности образцов после определенного количества циклов увлажнения и высушивания на образцах-кубах с ребром 5 см.

После определения массы образцы погружали в воду на 1 ч, затем взвешивали на гидростатических весах, вынимали из воды, вытирали, взвешивали на воздухе и высушивали в течение 22 ч при температуре 30 °С, после чего

а



б

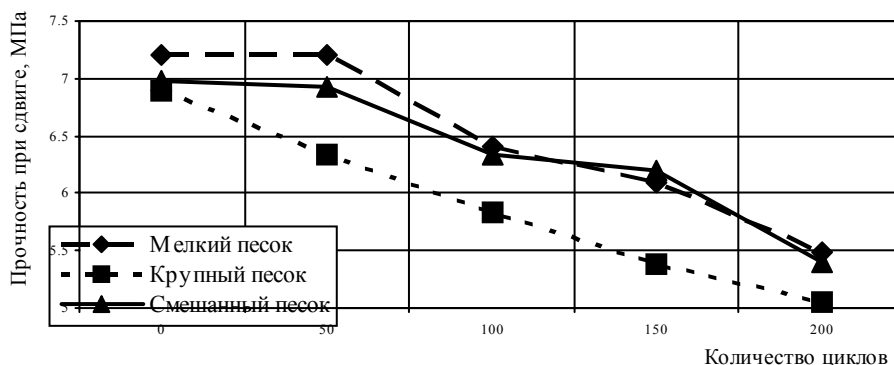


Рис. 2. Зависимость адгезионной прочности к стали раствора на основе алкилрезорцина на песках различной крупности от циклических изменений температуры:

а – наполнитель портландцемент; *б* – наполнитель цементная пыль

В связи со спецификой эксплуатации к транспортным сооружениям предъявляются требования по морозостойкости. Исследования морозостойкости полимерных растворов на основе алкилрезорцина проводились путем замораживания образцов инъекционного полимерного раствора. Образцы-кубы размером 5х5х5

охлаждали на воздухе и снова помещали в воду. Один цикл испытания продолжался 24 ч. Испытания прекращались при потере прочности образцов на 15 %. Наряду с прочностью образцов контролировалось изменение объема по разности масс в воде и на воздухе. [4]

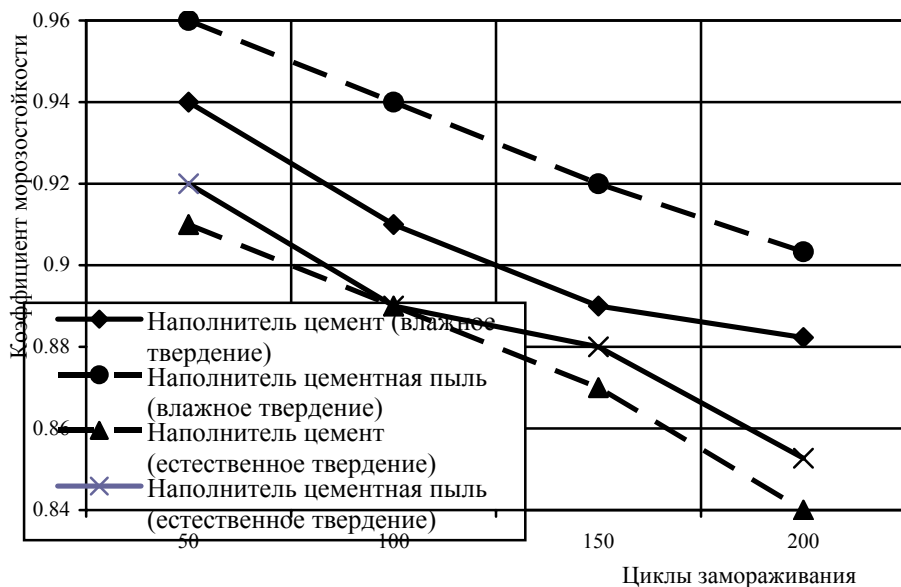
Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 2.

см насыщали 5 % раствором хлористого натрия в течение 2 ч, взвешивали, помещали каждый образец в полиэтиленовый пакет и замораживали в течение 4 ч при температуре –200 °С, после чего образцы оттаивали в этих же пакетах в течение 20 ч. Полный цикл составлял 24 ч. После каждых 50 циклов испытания образцы

вынимали из полиэтиленовых пакетов, взвешивали и испытывали на прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии. Морозостойкость определялась по потере прочности образцов не

a

более чем на 15 % после определенного количества циклов. В исследованиях использованы образцы раствора на крупном и мелком песке. Результаты испытаний представлены на рис. 3.



б)



Рис. 3. Морозостойкость полимерного раствора на основе алкилрезорцина:

a – на крупном песке; *б* – на мелком песке

Как следует из анализа результатов исследований, условия твердения образцов и крупность песка оказывают влияние на изменение морозостойкости полимерного раствора в пределах 3...4 %. Практически все образцы выдержали испытание на морозостойкость, лишь некоторые образцы на мелком песке начали разрушаться после 160 циклов [5].

Повышение морозостойкости раствора на крупном песке можно объяснить небольшим дополнительным воздухововлечением ($\approx 1,5$ %),

а также улучшением структурных характеристик раствора при введении в качестве наполнителя цементной пыли [6; 7].

Следовательно, можно заключить, что разработанные инъекционные растворы на основе алкилрезорцина способны обеспечить морозостойкость восстанавливаемых транспортных сооружений в пределах F 150...200.

Выводы. Установлено, что условия твердения раствора практически не оказывают отрицательного влияния на коррозионную стой-

кость, что подтверждает ранее полученные результаты о стабильности физико-механических свойств полимерного раствора, твердевшего в нормальных условиях и во влажной среде. На коррозионную стойкость раствора на основе алкилрезорцина влияет вид наполнителя, повышая ее при введении цементной пыли. Прирост массы у образцов раствора на мелком песке на 0,7...1,3 % выше, чем у образцов на крупном песке, что свидетельствует о более значительном процессе накопления солей в первом случае.

Условия твердения образцов и крупность песка оказывают влияние на изменение морозостойкости полимерного раствора в пределах 3...4 %. Повышение морозостойкости раствора на крупном песке объясняется дополнительным воздухововлечением в пределах 1,5 %, а также улучшением структурных характеристик раствора при введении в качестве наполнителя цементной пыли. разработанные инъекционные растворы на основе алкилрезорцина обеспечивают морозостойкость восстанавливаемым транспортным сооружениям F 150...200.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений. – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 412 с.
2. Современные методы, средства и результаты натурных обследований транспортных и гидротехнических сооружений и их оснований // Сб. научн. трудов. – Т. 138. – К.: Будівництво, 1995. – 124 с.
3. ДБН Д.2.2-13-99. Захист будівельних конструкцій та устаткування від корозії. – Введ. 01.02.2000. – К.: Держбуд України, 2000. – 88 с.
4. Пшинько А. Н. Гигрометрические свойства бетона в условиях попеременного увлажнения и высушивания // Вісник Академії. – Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – Д. – 1999. – № 9. – С. 41–46.
5. Артамонов В. С. Защита от коррозии транспортных сооружений. – М.: Стройиздат, 1976. – 192 с.
6. Бородин В. Н., Толстая С. Н., Таубман А. Б. Влияние формы частиц наполнителя на кинетику структурообразования в растворах полимеров // Коллоидный журнал. – 1981. – Т. XXX. – № 6. – С. 811–813.
7. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты. – Пер. с англ. – М.: Химия, 1979. – 440 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2007.

ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ЛАГРАНЖА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ «МОСТ-ПОЕЗД»

Розглянуті питання застосування рівнянь Ейлера-Лагранжа до рішення задачі вимушених коливань системи «міст-поїзд». Враховуються динамічні особливості рухомих навантажень та прогонових будов мостів.

Рассмотрены вопросы применения уравнений Эйлера-Лагранжа к решению задачи вынужденных колебаний системы «мост-поезд». Учитываются динамические особенности подвижных нагрузок и пролетных строений железнодорожных мостов.

The questions of application of the Euler-Lagrange equations to the decision of forced vibration problem of system «bridge-train» are considered. The account of dynamic features of moving loading and bridge span beams are made.

Вынужденные колебания подвижного состава при высоких скоростях движения не могут рассматриваться независимо от вызываемых ими колебаний моста. В свою очередь, при проектировании моста под железную дорогу

необходимо учитывать динамические особенности железнодорожных нагрузок.

Рассмотрим совместные пространственные колебания системы «мост-поезд», где каждый элемент моделируется системой связанных твердых тел (рис. 1).

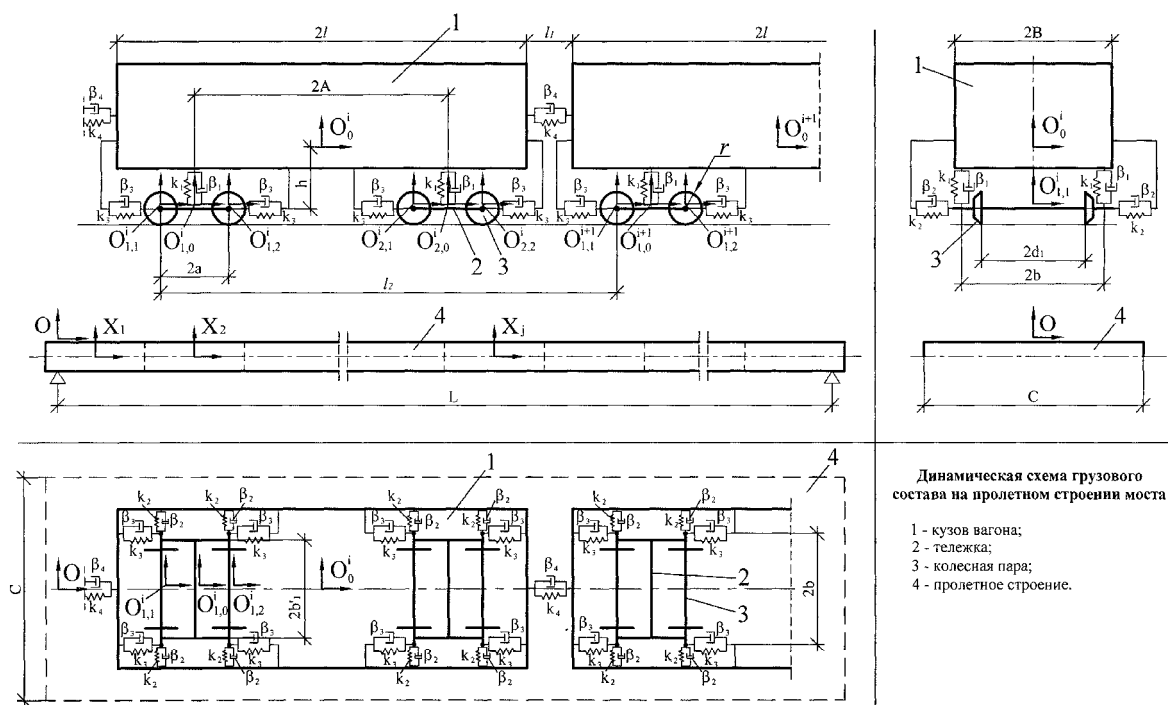


Рис. 1. Динамическая модель системы «мост-поезд».

Так, балочная конструкция пролетного строения разделяется на участки, в пределах которых поперечные сечения элементов и изгибные жесткости считаются постоянными. Каждый участок балки моделируется твердым телом с соответствующими геометрическими и

инерционными характеристиками и может совершать, в общем случае, пространственные поступательные и вращательные движения. Твердые тела связаны друг с другом посредством упругих связей-стержней, обладающих жесткостными характеристиками исходной

конструкции балки. Такая модель позволяет описать пространственные упругие колебания пролетного строения моста, используя конечное число степеней свободы. Также предполагается, что материал следует закону Гука, а деформации малы.

В свою очередь, каждый вагон поезда рассматривается в виде системы таких твердых тел, как колесные пары, рамы тележек, кузов, груз и другие детали вагона. В качестве связей между телами учитывается рессорное подвешивание и связи в автосцепках между вагонами [2].

Для динамической модели поезда, состоящего из четырехосных грузовых вагонов, приняты следующие допущения:

- жесткости несущих конструкций вагона, ходовых частей и рессорного подвешивания являются постоянными величинами. Комплект рессорного подвешивания заменен пружинами эквивалентной жесткости;

- жесткости кузова, рам тележек, колесных пар значительно превышают жесткость рессорного подвешивания, и моделируются твердыми телами.

Математическая модель колебаний системы «мост–поезд» сводится к системе дифференциальных уравнений первого порядка, основанной на законах сохранения энергии в форме уравнений Эйлера-Лагранжа с учетом различных видов упругого и неупругого сопротивления и нелинейностей [4].

Для получения общего уравнения динамики системы «мост–поезд» будем исходить из дифференциальных уравнений движения центров масс всех её элементов в форме второго закона Ньютона [5]:

$$m_i a_i = F_i + R_i; \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где N – количество элементов системы; m_i – масса i -го элемента системы; a_i – ускорение центра масс i -го элемента; F_i – главный вектор активных сил, приложенных к центру масс i -го элемента; R_i – главный вектор реакций связей, наложенных на i -й элемент системы.

Для исключения реакций связей скалярно умножим каждое из уравнений (1) на соответствующее возможное перемещение центра масс i -го элемента δr_i :

$$m_i a_i \cdot \delta r_i = (F_i + R_i) \cdot \delta r_i. \quad (2)$$

Складывая полученные произведения, приходим к уравнению:

$$\sum_{i=1}^N m_i a_i \cdot \delta r_i = \sum_{i=1}^N F_i \cdot \delta r_i + \sum_{i=1}^N R_i \cdot \delta r_i. \quad (3)$$

Предполагая, что все связи, наложенные на систему, являются идеальными, и работа их реакций на соответствующих возможных перемещениях равна нулю, приходим к общему уравнению динамики системы:

$$\sum_{i=1}^N m_i a_i \cdot \delta r_i = \sum_{i=1}^N F_i \cdot \delta r_i. \quad (4)$$

В каждый фиксированный момент времени t возможное перемещение δr_i вычисляется по формуле:

$$\delta r_i = r_i(q_1 + \delta q_1, \dots, q_n + \delta q_n, t) - r_i(q_1, q_2, \dots, q_n, t) = \sum_{s=1}^n \frac{\partial r_i}{\partial q_s} \cdot \delta q_s, \quad (5)$$

где q_s – перемещения центров масс элементов системы (обобщенные координаты); n – количество обобщенных координат; δq_s – вариации обобщенных координат.

В качестве обобщенных выбирают такие координаты, для которых матрицы инерционных, квазиупругих и диссипативных коэффициентов имеют простейшую форму [6].

Выражая уравнение (4) через производную по времени t (точкой принято обозначение производной по времени), аналогично [4], получим общее центральное уравнение:

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N m_i v_i \cdot \delta r_i = \delta T + \delta W + \sum_{i=1}^N m_i v_i \cdot \left[(\delta r_i)' - \delta v_i \right], \quad (6)$$

где v_i – скорость центра масс i -го элемента системы; T и δT – соответственно кинетическая энергия системы и её вариация:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i v_i^2, \quad \delta T = \frac{1}{2} \delta \sum_{i=1}^N m_i v_i^2; \quad (7)$$

δW – элементарная работа активных сил:

$$\delta W = \sum_{i=1}^N F_i \cdot \delta r_i. \quad (8)$$

Для упрощения процесса составления уравнений движения, более приемлемыми будут уравнения Эйлера-Лагранжа, в которых, в отличие от уравнений Лагранжа, вместо обобщенных скоростей вводятся квазискорости ω_s и вариации квазиординат $\delta \pi_s$ [4]:

$$\omega_s = a_{s1}\dot{q}_1 + \dots + a_{sn}\dot{q}_n = \sum_{r=1}^n a_{sr}\dot{q}_r, \quad (9)$$

$$\delta\pi_s = a_{s1}\delta q_1 + \dots + a_{sn}\delta q_n = \sum_{r=1}^n a_{sr}\delta q_r. \quad (10)$$

Выражая каждое слагаемое уравнения (6) через квазискорости и вариации квазиординат, получим:

$$\sum_{i=1}^N m_i v_i \cdot \delta r_i = \sum_{s=1}^n p_s^* \cdot \delta\pi_s; \quad (11)$$

$$\delta T = \sum_{s=1}^n \left(\frac{\partial T}{\partial \omega_s} \cdot \delta \omega_s + \frac{\partial T}{\partial \pi_s} \cdot \delta \pi_s \right); \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \delta W &= \sum_{s=1}^n \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial r_i}{\partial \pi_s} \cdot \delta \pi_s = \\ &= \sum_{s=1}^n \delta \pi_s \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial r_i}{\partial \pi_s}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^n p_s \cdot \left[(\delta \pi_s)' - \delta \dot{q}_s \right] &= \sum_{r=1}^n p_r^* \cdot \left[(\delta \pi_r)' - \right. \\ &\quad \left. - \delta \omega_r - \sum_{t=1}^n \sum_{m=1}^n \gamma_{t,m}^r \omega_t \cdot \delta \pi_m \right], \end{aligned} \quad (14)$$

где p_s^* , p_s – обобщенные импульсы, отнесенные к квазискорости и обобщенной координате соответственно:

$$p_s^* = \frac{\partial T}{\partial \omega_s}, \quad p_s = \frac{\partial T}{\partial q_s}; \quad (15)$$

$\delta \omega_r$ – вариации квазискоростей:

$$\delta \omega_r = \sum_{s=1}^n \delta(a_{rs}\dot{q}_s); \quad (16)$$

$\gamma_{t,m}^s$ – трехиндексные символы Больцмана [4]:

$$\gamma_{t,m}^s = \sum_{k=1}^n \sum_{r=1}^n \left(\frac{\partial a_{sk}}{\partial q_r} - \frac{\partial a_{sr}}{\partial q_k} \right) b_{rt} b_{km}, \quad s, t, m = 1, \dots, n. \quad (17)$$

Принимается, что матрица коэффициентов $A = \{a_{sr}\}$, $s, r = 1, \dots, n$, невырожденная, т. е. $\det(A) \neq 0$. Тогда матрица $B = \{b_{sr}\}$ связана с матрицей A соотношением:

$$B = A^{-1} \text{ или } A \cdot B = B \cdot A = E. \quad (18)$$

Введем обобщенную силу Q_s , отнесенную к квазиординате:

$$Q_s = \sum_{i=1}^N F_i \cdot \frac{\partial r_i}{\partial \pi_s}. \quad (19)$$

Полученные зависимости позволяют записать общее центральное уравнение (6) в квазиординатах:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \sum_{s=1}^n \frac{\partial T}{\partial \omega_s} \cdot \delta \pi_s &= \delta T + \sum_{s=1}^n Q_s \cdot \delta \pi_s + \\ &+ \sum_{s=1}^n \frac{\partial T}{\partial \omega_s} \cdot \left[(\delta \pi_s)' - \delta \omega_s \right] - \\ &- \sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^n \gamma_{t,s}^r \frac{\partial T}{\partial \omega_r} \omega_t \cdot \delta \pi_s. \end{aligned} \quad (20)$$

Представим левую часть уравнения (20) в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \sum_{s=1}^n \frac{\partial T}{\partial \omega_s} \cdot \delta \pi_s &= \\ &= \sum_{s=1}^n \left[\delta \pi_s \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \omega_s} \right)' + \frac{\partial T}{\partial \omega_s} (\delta \pi_s)' \right], \end{aligned} \quad (21)$$

и после упрощений приходим к соотношению:

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^n \delta \pi_s \left[\left(\frac{\partial T}{\partial \omega_s} \right)' + \sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^n \gamma_{t,s}^r \frac{\partial T}{\partial \omega_r} \omega_t - \right. \\ \left. - \frac{\partial T}{\partial \pi_s} - Q_s \right] = 0, \end{aligned} \quad (22)$$

из которого получаем уравнение Эйлера-Лагранжа [3; 4]:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \omega_s} \right)' + \sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^n \gamma_{t,s}^r \frac{\partial T}{\partial \omega_r} \omega_t - \frac{\partial T}{\partial \pi_s} = Q_s. \quad (23)$$

Для решения системы дифференциальных уравнений (23) необходимы дополнительные условия, учитывающие кинематику движения системы:

$$\dot{q}_r = b_{r1}\omega_1 + \dots + b_{rn}\omega_n = \sum_{s=1}^n b_{rs}\omega_s. \quad (24)$$

Рассмотрим движение системы координат X_i , связанной с центром масс i -го элемента относительно неинерциальной системы координат CX_i , движущейся в абсолютной (инерциальной) системе O . Движение системы CX_i в абсолютной системе координат O будет переносным, а локальной системы X_i – относительным (рис. 2).

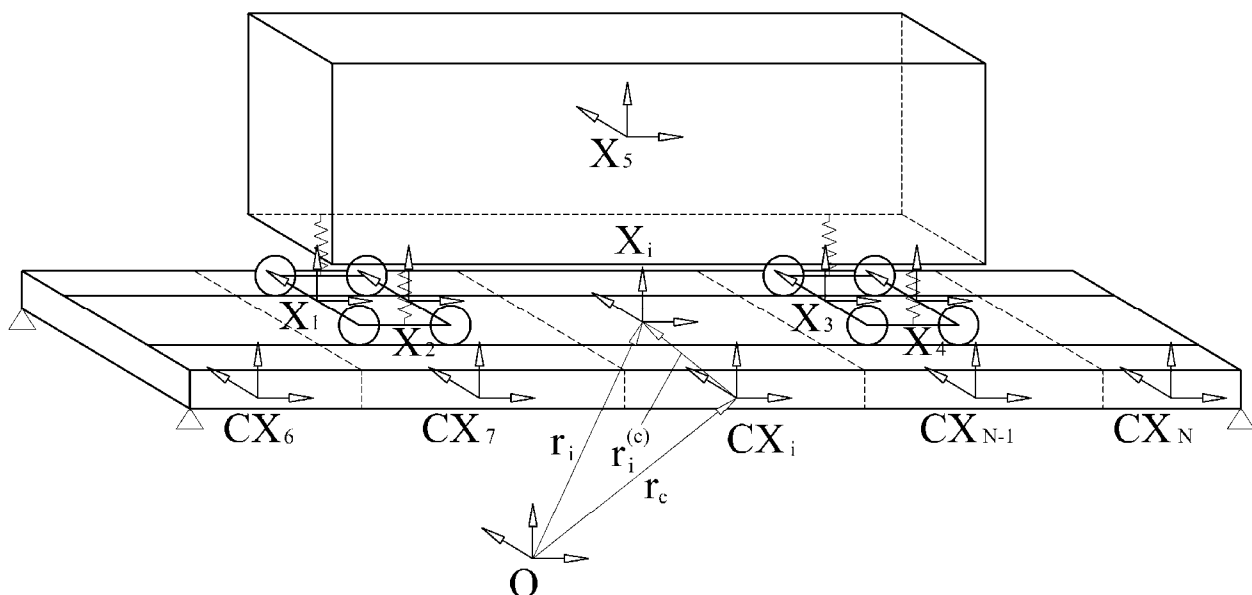


Рис. 2. Расчетная схема грузового вагона и пролетного строения моста.

Радиус-вектор r_c определяет переносное движение системы координат CX_i , а радиус-вектор $r_i^{(c)}$ – относительное движение локальной системы X_i . Тогда радиус-вектор абсолютного движения r_i равен:

$$r_i = r_c + r_i^{(c)}. \quad (25)$$

Абсолютная скорость системы координат X_i состоит из поступательной скорости v_c и вращательной скорости $\omega_c \times r_i^{(c)}$:

$$v_i = v_c + \omega_c \times r_i^{(c)}. \quad (26)$$

Формула для выражения кинетической энергии движения этого элемента примет вид:

$$T_i = \frac{1}{2} \left[m_i v_c^2 + 2m_i (v_c \times \omega_c) \cdot r_i^{(c)} + \omega_c \cdot \theta_i \cdot \omega_c \right], \quad (27)$$

где $\omega_c \cdot \theta_i \cdot \omega_c = m_i (\omega_c \times r_i^{(c)}) \cdot (\omega_c \times r_i^{(c)})$, θ_i – тензор инерции элемента в системе CX_i .

Примем в качестве квазиординат проекции вектора линейной скорости координатной системы X_i на оси системы координат CX_i :

$$\begin{cases} \omega_1 = v_{c,x}; \\ \omega_2 = v_{c,y}; \\ \omega_3 = v_{c,z}, \end{cases} \quad (28)$$

а также проекции вектора угловой скорости координатной системы X_i на те же оси:

$$\begin{cases} \omega_4 = \omega_{c,x}; \\ \omega_5 = \omega_{c,y}; \\ \omega_6 = \omega_{c,z}. \end{cases} \quad (29)$$

Составим дифференциальные уравнения движения i -го элемента системы. В координатной форме выражение кинетической энергии примет вид:

$$\begin{aligned} T_i = & \frac{1}{2} m_i (v_{c,x}^2 + v_{c,y}^2 + v_{c,z}^2) + \\ & + m_i (v_{c,y} \omega_{c,z} \cdot r_{i,x}^{(c)} - v_{c,z} \omega_{c,y} \cdot r_{i,x}^{(c)}) + \\ & + m_i (v_{c,z} \omega_{c,x} \cdot r_{i,y}^{(c)} - v_{c,x} \omega_{c,z} \cdot r_{i,y}^{(c)}) + \\ & + m_i (v_{c,x} \omega_{c,y} \cdot r_{i,z}^{(c)} - v_{c,y} \omega_{c,x} \cdot r_{i,z}^{(c)}) + \\ & + \frac{1}{2} (\theta_{i,x} \omega_{c,x}^2 + \theta_{i,y} \omega_{c,y}^2 + \theta_{i,z} \omega_{c,z}^2). \end{aligned} \quad (30)$$

Найдем поочередно частные дифференциалы кинетической энергии i -го элемента системы по указанным квазискоростям ω_s .

Так, производная по квазискорости ω_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_1} = \frac{\partial T_i}{\partial v_{c,x}} = & \frac{1}{2} m_i \frac{\partial v_{c,x}^2}{\partial v_{c,x}} + m_i \frac{\partial v_{c,x}}{\partial v_{c,x}} \omega_{c,y} \cdot r_{i,z}^{(c)} = \\ = & m_i v_{c,x} + m_i \omega_{c,y} \cdot r_{i,z}^{(c)}. \end{aligned} \quad (31)$$

Производные по квазискоростям ω_2 и ω_3 имеют аналогичный вид с соответствующей циклической перестановкой индексов x, y, z .

Производная по квазискорости ω_4 (а также по квазискоростям ω_5 и ω_6 с соответствующими индексами):

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_4} &= \frac{\partial T_i}{\partial \omega_{c,x}} = \frac{1}{2} m_i v_{c,z} \frac{\partial \omega_{c,x}}{\partial \omega_{c,x}} \cdot r_{i,y}^{(c)} - \\ &- \frac{1}{2} m_i v_{c,y} \frac{\partial \omega_{c,x}}{\partial \omega_{c,x}} \cdot r_{i,z}^{(c)} + \frac{1}{2} \theta_{i,x} \frac{\partial \omega_{c,x}^2}{\partial \omega_{c,x}} = \\ &= \frac{1}{2} m_i (v_{c,z} \cdot r_{i,y}^{(c)} - v_{c,y} \cdot r_{i,z}^{(c)}) + \theta_{i,x} \omega_{c,x}. \end{aligned} \quad (32)$$

Проведем дифференцирование по времени полученных частных производных кинетической энергии. Уравнения разделяются на две группы: отвечающие поступательному (33) и вращательному (34) движению, соответственно.

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_1} = m_i \dot{v}_{c,x} + m_i \dot{\omega}_{c,y} \cdot r_{i,z}^{(c)}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_2} = m_i \dot{v}_{c,y} + m_i \dot{\omega}_{c,z} \cdot r_{i,x}^{(c)}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_3} = m_i \dot{v}_{c,z} + m_i \dot{\omega}_{c,x} \cdot r_{i,y}^{(c)}; \end{cases} \quad (33)$$

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_4} = \frac{1}{2} m_i (\dot{v}_{c,z} \cdot r_{i,y}^{(c)} - \dot{v}_{c,y} \cdot r_{i,z}^{(c)}) + \\ + \theta_{i,x} \dot{\omega}_{c,x}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_5} = \frac{1}{2} m_i (\dot{v}_{c,x} \cdot r_{i,z}^{(c)} - \dot{v}_{c,z} \cdot r_{i,x}^{(c)}) + \\ + \theta_{i,y} \dot{\omega}_{c,y}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T_i}{\partial \omega_6} = \frac{1}{2} m_i (\dot{v}_{c,y} \cdot r_{i,x}^{(c)} - \dot{v}_{c,x} \cdot r_{i,y}^{(c)}) + \\ + \theta_{i,z} \dot{\omega}_{c,z}. \end{cases} \quad (34)$$

Представим уравнение Эйлера-Лагранжа (23) в координатной форме с учетом (33) и использованием квазискорости $\omega_1 = v_{c,x}$, отражающей линейную скорость:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v_{c,x}} \right) + \omega_{c,y} \frac{\partial T}{\partial v_{c,z}} - \omega_{c,z} \frac{\partial T}{\partial v_{c,y}} = F_x, \quad (35)$$

а также с учетом (34) и использованием квазискорости $\omega_4 = \omega_{c,x}$, отражающей угловую скорость:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial T}{\partial \omega_{c,x}} \right) + \omega_{c,y} \frac{\partial T}{\partial \omega_{c,z}} - \omega_{c,z} \frac{\partial T}{\partial \omega_{c,y}} + \\ + v_{c,y} \frac{\partial T}{\partial v_{c,z}} - v_{c,z} \frac{\partial T}{\partial v_{c,y}} = M_x, \end{aligned} \quad (36)$$

где M – главный момент системы сил относительно осей, связанных с i -м элементом; F – главный вектор сил в проекциях на эти оси.

По аналогии, используя циклическую перестановку индексов, из уравнений (35)–(36) получим выражения, соответствующие остальным квазикоординатам.

Рассмотрим связи, действующие на элементы системы: упругие стержни, пружины и демпферы.

Так, для стержня зависимости упругих сил от координат задаются линейными соотношениями:

$$F^{(c)} = - \sum_{k=1}^n c_{s,k}, \quad (37)$$

где $C = \{c_{s,k}\}$ – симметричная матрица жесткости. Потенциальная энергия деформированного стержня в этом случае будет равна:

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n c_{s,k} q_s q_k = \frac{1}{2} q' \cdot C \cdot q, \quad (38)$$

где q , q' – столбец и строка обобщенных координат, соответственно.

Для линейной пружины упругость аналогична приведенной для стержня, с матрицей жесткости, содержащей только диагональные элементы k_1, k_2, k_3 (рис. 1).

Для демпфера (диссипативная связь), сила сопротивления движению направлена противоположно скорости движения:

$$F^{(d)} = -\beta_j \frac{v_j^* - v_j}{|v_j^* - v_j|}; \quad j = 1, \dots, n, \quad (39)$$

где v^* – геометрическая разность векторов переносной и абсолютной скорости; v – квазискорость; β – коэффициент вязкости.

Уравнения (35)–(36) представляют возможность эффективно использовать особенность составных систем, учитывать повторяющуюся структуру и рассматривать их отдельные блоки (подсистемы).

В общем случае, для рассматриваемой системы (рис. 2) количество уравнений будет $12N$: по $3N$ – для поступательного (35) и вращательного (36) движения, и $6N$ – для кинематических связей (24).

Решение уравнений можно проводить одним из численных методов с желаемой точностью для различных случаев, в том числе, и с учетом нелинейностей, влияние которых на динамические характеристики системы «мост–поезд» будет весьма существенным. Такие нелинейности обусловлены, в частности, криволинейностью профиля поверхности катания колеса, зазорами в соединениях несущих узлов ходовых частей, действием сил сухого трения в опорах кузова на тележки, в опорных частях пролетных строений и другими факторами [1; 7]. Следует также отметить, что полную характеристику поведения моста, особенно гибких систем, в резонансной зоне можно получить только с помощью методов нелинейной механики.

Предлагаемый подход позволяет найти линейные и угловые перемещения, скорости, силы и моменты реакций в связях, и приводит к простым алгоритмам, удобным для программирования на ЭВМ. Расчеты могут проводиться также для ускоренного и замедленного движений, т. е. для случая торможения или разгона поезда на пролете моста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарь Н. Г. Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом / Н. Г. Бондарь, Ю. Г. Козьмин, З. Г. Ройтбурд и др. – М.: Транспорт, 1984 – 272 с.
2. Гарг В. К., Дуккипати Р. В. Динамика подвижного состава. / Под ред. Н. А. Панькина. – М.: Транспорт, 1988 – 391 с.
3. Кравец В. В. Математическая модель пространственных колебаний сталежелезобетонного пролетного строения / В. В. Кравец, С. Е. Блохин // Динамические характеристики механических систем - К.: Наукова думка, 1984, – С. 48–53.
4. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М.: Физмат, 1961 – 820 с.
5. Ишлинский А. Ю. Классическая механика и силы инерции. – М.: Наука, 1987 – 320 с.
6. Ушкалов В. Ф. Математическое моделирование динамики рельсовых транспортных средств / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, В. С. Иккол и др. – К.: Наукова думка, 1989 – 240 с.
7. Fryba L. Dynamics Of Railway Bridges – Academia Praha, 1996 – 331 p.

Поступила в редколлегию: 30.03.2007.

Є. І. БАЛАКА, О. В. СЕМЕНЦОВА, О. Л. ВАСИЛЬСВ (Українська державна академія залізничного транспорту)

ВИЗНАЧЕННЯ СОБІВАРТОСТІ ТА ТАРИФІВ НА ПРИМІСЬКІ ЗАЛІЗНИЧНІ ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

Запропоновано нетрадиційні для залізничного транспорту підходи щодо калькулювання собівартості перевезень пасажирів у приміському сполученні, визначення тарифу та, на його основі, встановлення вартості проїзду на різні відстані в потягах, що різняться населеністю та кількістю секцій.

Предложены нетрадиционные для железнодорожного транспорта подходы к калькулированию себестоимости перевозок пассажиров в пригородном сообщении, определению тарифа и, на его основе, установления стоимости проезда на разные расстояния в поездах, отличающихся населенностью и количеством секций.

Untraditional for railway transport approach to calculation of suburban passenger transportations prime cost, tariff definition and on its basis the cost of transportations on different distance in trains that differ by account of passenger and sections are proposed.

Постановка проблеми та її зв'язки з науковими та практичними завданнями

Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту [1] особливо наголошено на недосконалість нормативно-правових актів та недостатню прозорість фінансової діяльності галузі. У зв'язку з цим, Концепцією передбачено, що основними напрямками реформування галузі є створення передумов для запровадження принципів Європейської транспортної спільноти та удосконалення системи управління залізничним транспортом, у тому числі управління витратами та удосконалення системи тарифів на послуги залізничного транспорту. Тобто необхідною умовою для ефективного реформування галузі є удосконалення фінансово-економічного механізму. Це дозволить більш обґрунтовано визначати розмір плати за перевезення пасажирів, зокрема в приміському сполученні, і забезпечить більш чіткий та прозорий розподіл фінансових потоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор з посиланнями на джерела

Питання удосконалення методів розрахунку собівартості у сфері пасажирських залізничних перевезень, зокрема і приміських, останнім часом дуже активно підіймається та дискутується у науковому світі. Аспектам визначення собівартості пасажирських залізничних перевезень

присвячено роботи як вітчизняних [2-4], так і закордонних науковців [5-8].

Виділення невирішених частин загальної проблеми, котрій присвячується стаття

Не зважаючи на різноманітність поглядів, актуальним та відкритим лишається питання удосконалення методології визначення собівартості перевезень пасажирів у приміському сполученні, а також обґрунтованих тарифів на різних маршрутах, що відрізняються умовами перевезень та відстанню.

Формування цілей статті (постановка завдання)

Мета статті полягає у розкритті та обґрунтуванні уніфікованого підходу до калькулювання витрат на приміські залізничні перевезення пасажирів, який може також ефективно використовуватися в цілях визначення собівартості перевезень пасажирів як у місцевому, так і у дальньому сполученнях

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Перевезення пасажирів приміським залізничним комплексом (ПЗК) є транспортною послугою з переміщення пасажирів у встановлених межах приміського сполучення з використанням приміських та місцевих електро- та дизель-поїздів, поїздів, сформованих із класних ваго-

нів з локомотивною тягою, без нумерації місць у вагонах за приміськими тарифами [9] між приміськими залізничними станціями.

Аналіз наукової, методичної, навчальної літератури та статистичних даних дає змогу стверджувати, що є декілька поглядів щодо одиниць виміру транспортної роботи залізниць з перевезень приміських пасажирів. Так із статистичної звітності, що стосується перевезень приміських залізничних пасажирів Укрзалізницею та підпорядкованими їй залізницями, можна побачити, що розрахунок середніх фінансових показників ведеться на 10 пас-км. Але аналізуючи існуючі системи оплати за проїзд у приміському залізничному пасажирському сполученні, зазначимо, що існують такі основні види тарифів: покілометровий (коли за одиницю транспортної продукції з перевезень приміських пасажирів прийнято 1 пас-км), зонний та загальний (грунтуючись на принципі побудови тарифу – коли оплата проїзду до кожної зупинки тарифної зони (або площадки) є однаковою в межах зони, вимірником одиниці транспортної роботи можна вважати відповідно відстань однієї зони та довжину однієї тарифної площадки). Аналіз наукових доробок вчених різних часів [10, с.27; 11, с.146, 8, с. 198] дає підстави казати, що деякі з них (Дмитрієв В.А., Кедров В.С. Абрамов А.П.) у своїх дослідженнях базувалися на вимірнику транспортної роботи по перевезенню пасажирів у 1 пас-км, також можна зустріти використання вимірника у 10 пас-км [12, с. 246]. У свою чергу аналіз розташування приміських зупинок та приміських зон дає можливість стверджувати, що в межах однієї зони найчастіше розташовано декілька зупинок і встановлення однакової вартості проїзду до кожної з них не є справедливим. Ведення розрахунків собівартості на 10 пас-км також не дають справедливої оцінки вартості перевезень, бо на цій відстані також під час розташовано декілька зупинок.

Необхідність удосконалення методів визначення собівартості приміських пасажирських перевезень викликано наступними причинами:

1) досвід реформування залізниць економічно розвинених країн та Концепція реформування залізничного транспорту України [1] наголошують на необхідності відділення пропускнуої спроможності залізниць від експлуатаційної роботи та надання частини пропускнуої спроможності операторам залізничних перевезень на договірній основі, що створює умови для внутрішньогалузевої конкуренції. Таким

чином, передбачається, що оператори перевезень будуть сплачувати “нитку графіку”, тобто частину пропускнуої спроможності залізниць. Вартість “нитки графіку” для оператора перевезень необхідно окремо враховувати у собівартості приміських перевезень.

2) прагнення державної адміністрації українських залізниць до приєднання до Євроспільноти, окрім вище зазначеного, має на увазі створення конкурентного середовища у сфері експлуатаційної роботи залізниць. Вирішення такого завдання може відбутися лише за відмови від покриття збитків пасажирського комплексу, у тому числі і приміського, за рахунок прибутків від вантажних перевезень. За таких обставин складуться умови для створення операторів залізничних перевезень, зокрема приміських. Для успішного функціонування таких компаній необхідно розробити нові методи визначення поточних витрат. Об’єктивна необхідність такої розробки полягає у тому, що на сьогодні існуюча Номенклатура витрат, яка налічує 635 статей, містить ряд недоліків. Так наприклад, за одними видами робіт витрати визначаються згідно з елементами, а за іншими – на окремі операції, де витрати мають комплексний характер і містять декілька елементів. [13, с.48] (в межах кожної статті витрати враховуються у поелементному розмірі без урахування амортизації, яка відноситься до окремої статті і не враховується при визначенні собівартості окремої роботи [14, с.117]), а також окремою сумою визначаються загальновиробничі та адміністративні витрати, що не дає можливості визначити виробничу та повну собівартості тих чи інших робіт, що в свою чергу не дає можливості справедливо та обґрунтовано встановлювати ціни (тарифи) на послуги залізниці по перевезенню як вантажів, так і пасажирів [14, с.117]. Таким чином, нові методи визначення поточних витрат повинні будуватися на принципах визначення витрат не тільки за напрямками, а й за місцем їх виникнення у повному обсязі та уніфікації (універсалізації) номенклатури витрат з метою її придатності для визначення виробничої та повної та собівартості будь-якої роботи, враховуючи як прямі так і непрямі витрати [14, с.117]. Це зробить більш прозорими та зрозумілими методи визначення витрат та як наслідок тарифоутворення на приміські пасажирські залізничні пасажирські перевезення.

3) приміський залізничний пасажирський транспорт, на відміну від вантажного, де задіяні різні типи вагонів, вантажів, мають місце пере-

робки на вантажних станціях тощо, виконує тільки однорідну роботу та перевозить лише пасажирів, отже, використовує, в основному, однотипний рухомий склад. Тому це дозволяє визначати витрати не лише за їх напрямками, а і за місцями їх виникнення. Останнє дасть можливість досить прозоро визначати собівартість 1 пас-км у різних напрямках та умовах перевезень, диференціювати її за маршрутами і прив'язуватись до населеності та фактору часу (години доби, дня тижня, сезону тощо).

4) на теперішній час в Україні для перевезення пасажирів у приміському сполученні залізниці використовують різні види енергетичних ресурсів (електроенергія та дизельне паливо) для тяги поїздів, тому витрати на електроенергію чи паливо для тяги поїздів для перевезень приміських пасажирів при калькуванні собівартості відповідно одного електро- чи дизель- поїздо-кілометра слід виокремлювати.

5) для здійснення приміського руху залізницями використовується потяги різної місткості (кількість вагонів може варіюватися від 4-ох до 10-ти вагонів), що по різному впливає на експлуатаційні витрати на здійснення приміських залізничних пасажирських перевезень. По-перше, це стосується величини витрат палива та електроенергії, бо вони різняться під впливом кількості вагонів, що використано у кожному конкретному випадку і, по-друге, - величини рахунку за використання наданої компанії-власником інфраструктури нитки графіку для прямування приміського потягу.

6) місцевість, якою пролягають маршрути приміських залізничних перевезень може мати різні природні (географічні) характеристики, а саме: підйоми, спуски, зміни напрямку маршруту (повороти) тощо. Вказані особливості впливають на профіль лінійності колії, що, в свою чергу, також веде до зростання витрат на перевезення приміських пасажирів залізницею.

7) різна кількість зупинок, що зумовлено відмінністю щільності розташування населених пунктів у окремих напрямках приміських залізничних перевезень, призводять до зростання або зниження питомої ваги витрат на розгін та гальмування приміського потягу на одиницю роботи (1 поїздо-км);

У зв'язку з відносно невеликими відстанями приміських залізничних перевезень, для більш ґрунтового розрахунку собівартості і тарифу на перевезення за одиницю транспортної роботи доцільно приймати 1 пас-км. Крім того, на-

селеність поїзду протягом маршруту змінюється значно, а, поруч з цим, експлуатаційні витрати, що пов'язані з рухом приміського потягу мало залежать від його населеності, собівартість 1 пас-км буде змінюватися. Тому, для визначення собівартості 1 пас-км, перш за все необхідно визначити собівартість 1 поїздо-кілометра.

Оскільки всі маршрути різняться між собою, то буде відрізнятися і собівартість 1 поїздо-км. Для більш точного і обґрунтованого визначення планової та фактичної собівартості приміських пасажирських перевезень витрати доцільно класифікувати наступним чином:

– по-перше, за напрямками (тобто економічними елементами), а саме: електроенергія (паливо); матеріали; оплата праці; відрахування на соціальні заходи; амортизація; інші;

– по-друге, за місцями їх виникнення (тобто за статтями калькуляції), а саме:

1) виробничі витрати, у тому числі: 1.1) електроенергія для перевезень, 1.2) паливо для перевезень з урахуванням транспортно-заготівельних витрат, 1.3) оплата наданої пропускнуої спроможності (нитки графіку), 1.4) роботи і послуги виробничого характеру сторонніх підприємств та організацій, 1.5) основна заробітна плата поїзних бригад, 1.6) додаткова заробітна плата поїзних бригад, 1.7) відрахування на соціальні заходи, 1.8) витрати на підготовку та освоєння послуг з перевезень, 1.9) витрати на утримання та експлуатацію рухомого складу, 1.10) витрати на утримання та експлуатацію під'їзної колії, 1.11) витрати на здійснення початково-кінцевих операцій, 1.12) загальновиробничі витрати, 1.13) компенсаційні витрати, що пов'язано з низькою якістю перевезень, 1.14) інші виробничі витрати,

2) адміністративні витрати;

3) витрати на збут;

4) інші операційні витрати;

5) попутні послуги (обліковуються, у тому випадку, коли займають частину корисної площі рухомого складу і сплата за використання таких послуг не входить до вартості квитка).

Оскільки приміський електротяг складається з різної кількості секцій, то, перш за все, необхідно визначати собівартість експлуатації однієї електросекції. Перелік економічних елементів у складі калькуляційних статей витрат для визначення собівартості перевезень у розрахунку на 1 секції-км наведено у таблиці 1. Знаком «+» вказано до якого (чи яких) економічних елементів відносяться витрати кожної статті калькуляції.

**Статті калькуляції собівартості та елементи витрат на здійснення перевезень пасажирів
у приміському електропотязі, грн./1 секціє-км**

Статті калькуляції	Елементи витрат						Усього
	Паливо (електро- енергія)	Мате- ріали	Опла-та праці	Відра- хуван-ня на соц. заходи	Амор- тиза-ція	Інші	
1 Виробничі витрати, у т.ч.:							
1.1 Електроенергія для пере- везень	+						+
1.2 Оплата наданої пропуск- ної спроможності (нитки гра- фіку)		+					+
1.3 Роботи і послуги виробни- чого характеру сторонніх під- приємств та організацій		+					+
1.4 Основна заробітна плата поїзних бригад			+				+
1.5 Додаткова заробітна плата поїзних бригад			+				+
1.6 Відрахування на соціальні заходи				+			+
1.7 Витрати на підготовку та освоєння послуг з перевезень	+	+	+	+	+	+	+
1.8 Витрати на утримання та експлуатацію рухомого скла- ду	+	+	+	+	+	+	+
1.9 Витрати на утримання та експлуатацію під'їзної колії	+	+	+	+	+	+	+
1.10 Витрати на здійснення початково-кінцевих операцій	+		+	+			+
1.11 Загальновиробничі ви- трати	+	+	+	+	+	+	+
1.12 Компенсаційні витрати, що пов'язано з низькою якіс- тю перевезень						+	+
1.13 Інші виробничі витрати		+	+	+	+	+	+
2 Адміністративні витрати	+	+	+	+	+	+	+
3 Витрати на збут	+	+	+	+	+	+	+
4 Інші операційні витрати	+	+	+	+	+	+	+
Повна собівартість експлуа- тації рухомого складу (без врахування витрат на нитку графіку)	+	+	+	+	+	+	+
5 Попутні послуги	+	+	+	+	+	+	+
Повна собівартість переве- зень пасажирів у примісько- му залізничному сполученні (без врахування витрат на нитку графіку)	+	+	+	+	+	+	+

Отже, для розрахунку собівартості перевезення пасажирів у приміському залізничному сполученні, необхідно розрахувати:

1) собівартість 1 пас-км (C_{ij}), грн.

$$C_{ij} = \frac{C_j^{nac}}{A_{ij} * l_{ij}}, \quad (1)$$

де j – відповідний маршрут приміського залізничного сполучення; i – відповідний ділянка маршруту між суміжними станціями приміського залізничного сполучення; C_j^{nac} – повна собівартість перевезення приміських пасажирів, грн.; A_{ij} – населеність потягу, пас.; l_{ij} – довжина ділянки, км.

2) повну собівартість перевезення пасажирів у приміському залізничному сполученні, грн

$$C_j^{пас} = C_j^{експл} - C_j^{пп}, \quad (2)$$

де $C_j^{експл}$ – повна собівартість експлуатації рухомого складу, грн., $C_j^{пп}$ – витрати на надання попутних послуг при здійсненні перевезень, грн.

3) повну собівартість експлуатації рухомого складу ($C_j^{експл}$), грн

$$C_j^{експл} = \sum_{i=1}^m C_{nij}^{експл} * l_{ij}, \quad (3)$$

де $C_{nij}^{експл}$ – повну собівартість експлуатації рухомого складу, грн./1 поїздо-км; m – кількість ділянок на маршруті, од.

4) повну собівартість експлуатації рухомого складу ($C_{nij}^{експл}$), грн./1 поїздо-км

$$C_{nij}^{експл} = C_c * n_{секц j} + \frac{3_{нг i j}}{l_{ij}}, \quad (4)$$

де C_c – нормативна собівартість одного секціє-кілометра, грн.; $n_{секц j}$ – кількість секцій у приміському потязі, секцій; $3_{нг i j}$ – витрати, які несе залізниця (або оператор залізничних перевезень), по оплаті власнику залізничної інфраструктури за використання наданої йому нитки графіку, грн. (метод визначення вартості нитки графіка наведено у роботі [15]);

5) витрати на надання попутних послуг ($C_j^{пп}$), грн.

$$C_j^{пп} = C_j^{експл} * \alpha, \quad (5)$$

де α – доля невластивих для залізниці робіт у сфері перевезення приміських пасажирів

$$\alpha = \frac{S_{пп}}{S_{кор}}, \quad (6)$$

де $S_{пп}$ – корисна площа 1 секції приміського рухомого складу, що використовується не за призначенням (не для перевезень приміських пасажирів), м²; $S_{кор}$ – площа 1 секції, що використовується для перевезень приміських пасажирів, м².

Ефективне управління витратами ґрунтується на співставленні запланованих та досягнутих показників. Для використання запропонованих підходів щодо калькулювання витрат у приміському пасажирському залізничному сполученні доцільно створити нову нормативну базу, тобто визначити нормативи витрат за статтями.

В табл. 2 наведено нормативні витрати на матеріальні і трудові ресурси в розрахунках на 1 секціє-км (нормативи витрат розраховано за даними Моторвагонного депо Харків).

Розрахунок собівартості на приміські пасажирські перевезення електропотягом для умовного напрямку ВД, який складається з двох ділянок В-С та С-Д, показано у табл. 3.

Розрахунки собівартості перевезень пасажирів у приміських електропоїздах слугують базою для встановлення тарифів у приміському сполученні та визначення вартості проїзду конкретним маршрутом.

Вартість проїзду у приміському електропоїзді (C_{npj}), грн. визначається за формулою

$$C_{npj} = \sum_{i=1}^m T_{ij} * l_{ij}, \quad (7)$$

де T_{ij} – тариф на перевезення залізницею одного пасажирів на 1 км у приміському сполученні, грн./1 пас-км;

$$T_{ij} = C_{ij} * (1 + R) / 100 \quad (8)$$

де R – встановлений відсоток рентабельності, %

Таблиця 2

**Нормативи експлуатаційних витрат у приміському сполученні на 1 секціє-км
(без урахування витрат на нитику графіка), грн.**

Статті калькуляції	Значення
1 Виробничі витрати, у т.ч.:	
1.1 Електроенергія для перевезень	0,57179
1.2 Роботи і послуги виробничого характеру сторонніх підприємств та організацій	0,40032
1.3 Основна заробітна плата поїзних бригад	0,1263
1.4 Додаткова заробітна плата поїзних бригад	0,12901
1.5 Відрахування на соціальні заходи	0,09577
1.6 Витрати на підготовку та освоєння послуг з перевезень	-
1.7 Витрати на утримання та експлуатацію рухомого складу	0,95758
1.8 Витрати на утримання та експлуатацію під'їзної колії	-
1.9 Витрати на здійснення початково-кінцевих операцій	0,12885
1.10 Загальновиробничі витрати	0,2264
1.11 Компенсаційні витрати, що пов'язано з низькою якістю перевезень	-
1.12 Інші виробничі витрати	-
2 Адміністративні витрати	0,04283
3 Витрати на збут	-
4 Інші операційні витрати	0,03665
Собівартість 1-го секціє-км	2,7155

Таблиця 3

**Розрахунок повної собівартості перевезень пасажирів у приміському залізничному сполученні
за маршрутом В-Д**

Назва показника	Значення	
	В-С	С-Д
1 Собівартість 1-го секціє-км, грн	2,7155	2,7155
2 Кількість секцій у приміському потязі, секцій	5	5
3 Витрати, які несе залізниця (або оператор залізничних перевезень), по оплаті власнику залізничної інфраструктури за використання наданої нитки графіку [15, с. 83], грн за поїзд	178,81	230,3
4 Довжина відповідної ділянки, км	16	15
5 Повна собівартість експлуатації рухомого складу у розрахунку на 1 поїздо-км, грн	24,75	28,93
6 Повна собівартість експлуатації рухомого складу, грн. за проїзд ділянкою	396	433,95
7 Доля невластивих для залізниці робіт у сфері перевезення приміських пасажирів	0,001	0,001
8 Витрати на надання попутних послуг при здійсненні перевезень ділянкою, грн	0,396	0,434
9 Повна собівартість перевезення пасажирів ділянкою маршруту приміського залізничного сполучення, грн	395,60	433,52
10 Повна собівартість перевезення пасажирів у приміському залізничному сполученні маршрутом	829,12	
11 Населеність потягу на ділянках, пас.	800	1100
12 Собівартість 1 пас-км, грн	0,031	0,026

Розрахунок величини тарифу на перевезення пасажирів у приміському електропотязі та визначення вартості проїзду окреми-

ми ділянками та маршрутом в цілому наведено у табл. 4.

Розрахунок тарифу на перевезення пасажирів у приміському залізничному сполученні та в вартості проїзду маршрутом В-Д, грн

Назва показника	Значення	
	В-С	С-Д
1 Собівартість 1 пас-км, грн.	0,031	0,026
2 Встановлений відсоток рентабельності, %	20	20
3 Тариф на перевезення залізницею одного пасажирів на 1 км у приміському сполученні (тобто тариф на 1 пас-км), грн	0,037	0,031
1 Довжина відповідної ділянки, км	16	15
5 Вартість проїзду відповідними ділянками приміського залізничного сполучення, грн	0,60	0,47
6 Вартість проїзду маршрутом приміського залізничного сполучення, грн.	1,07	

**Висновки даного дослідження
і перспективи подальших робіт
у цьому напрямку**

Наведений підхід визначення собівартості можна застосовувати як для калькулювання планових (нормативних) так і фактичних величин витрат на перевезення у приміському пасажирському залізничному сполученні. Крім того, такий уніфікований підхід може бути застосовано для визначення собівартості у дальньому та місцевому сполученнях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р // *Магістраль*. - № 1 (1179), 10-16 січня 2007 р. - С. 6.
- Колесникова Н.М. Методичні підходи до визначення собівартості пасажирських залізничних перевезень з метою ціноутворення в умовах подальшого реформування залізничного транспорту // *Вісник Міжнародного Слов'янського університету. Серія: економічні науки*. - 2004. - X. - Т. VII. - № 1. с. 35-39.
- Андреева М.В. Формування собівартості пасажирських залізничних перевезень далекого сполучення в тарифних цілях.: Дис. На здобуття наукового ступеня канд. екон. наук: спец. 08.07.04 - Економіка транспорту та зв'язку. - X.: УкрДАЗТ, 2002. - 174 с.
- Сич Є. М., Гудкова В.П. Пасажирських комплекс залізничного транспорту: розвиток і ефективність: Монографія. - К.: видавництво «Аспект-Поліграф», 2004. - 248 с.
- Шульга А.М., Смахова Н.Г. Себестоимость железнодорожных перевозок: Учебн. для ВУЗов ж.-д.-трансп. - М.: Транспорт, 1985. 279 с.
- Журавель А. И. Себестоимость железнодорожных перевозок. - Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2000. - 304 с.
- Абрамов А. П., Васильева Г. А. Формирование себестоимости перевозок // *Железнодорожный транспорт*. - М.: МПС, 1992. - № 6.
- Абрамов А. П. О методике определения себестоимости перевозок грузов для тарифных целей на железных дорогах // *Транспортные тарифы (Сб. статей)* Под ред. И. В. Ивлиева, В. П. Потапова. - М.: Трасжелдориздат, - 1960. - 292 с. - с. 163-205.
- Правила перевезень пасажирів, багажу, вантажобагажу та пошти залізничним транспортом України.
- Дмитриев В. А. Грузовые и пассажирские тарифы железнодорожного транспорта СССР. Учебное пособие (Лекция) - М., 1968. - 34 с.
- Кедров В. С. Железнодорожные пассажирские тарифы // *Транспортные тарифы (Сб. статей)* Под ред. И. В. Ивлиева, В. П. Потапова. - М.: Трасжелдориздат, - 1960. - 292 с. - С. 145-162.
- Беленький М. Н. Экономика железнодорожных пассажирских перевозок. - М.: Транспорт, 1974. - 272 с.
- Балака Є. І., Колесникова Н. М., Шутікова Л. Й. Удосконалення методів визначення собівартості робіт та послуг залізничного транспорту в умовах його подальшого реформування // *Проблеми економіки транспорту. III Міжнародна наукова конференція. Тези доповідей*. - Дніпропетровськ: ДПТ, 2003. - 216 с.
- Балака Є. І. Вдосконалення управлінського обліку як першочерговий крок комерціалізації на залізничному транспорті // *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: технологія, економіка і управління: Тези доповідей II-гої наук.-практ. конф.* - К.: КУЕТТ, 2004. - С. 117-118.
- Васильев О. Л. Нитка графіка та виробничі чинники, що визначають її вартість // *Залізничний транспорт України*, № 1, - 2007. - С. 81-83.

Надійшла до редколегії 27.04.07.

С. А. КОРЕЦКАЯ (ДИИТ)

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЛОГИСТИКИ

Сформирована система показателей на основе концепции логистики, отражающая состояние запасов материально-технических ресурсов для эффективного планирования и управления данными запасами на предприятиях железнодорожного транспорта.

Сформована система показників на основі концепції логістики, що відображає стан запасів матеріально-технічних ресурсів для ефективного планування і управління даними запасами на підприємствах залізничного транспорту.

The system of indexes on the basis of conception of logistic, reflecting the state of supplies of material and technical resources for the effective planning and data management by supplies on the enterprises of railway transport, is formed.

Введение. Железнодорожный транспорт является крупным потребителем различных материальных ресурсов.

Объемы и своевременность материально-технического снабжения (МТС) оказывают большое влияние на безопасность перевозок, эффективность ремонтных и эксплуатационных производственных процессов, что во многом определяет качество оказываемых услуг и конкурентоспособность железнодорожного транспорта в целом.

Прежняя методологическая основа организации МТС, созданная еще при плановой экономике, позволяет пока поддерживать нормальную работу железных дорог. Однако в условиях реформирования железнодорожного транспорта система управления МТС требует обновления и совершенствования на базе современных методов принятия и оптимизации управленческих решений [1, 2].

При реформировании железнодорожного транспорта необходима активизация деятельности, направленной на модернизацию и развитие материально-технической базы.

Вместе с тем, анализ работы ГП «Укрзалізниця» показывает ограниченность инвестиционных и материально-технических ресурсов.

В этой связи приоритетную роль приобретает эффективное управление МТС на основе современных методов логистики [3, 4, 5], разработка и реализация которых обеспечит дополнительные конкурентные преимущества железнодорожному транспорту и будет спо-

собствовать ускорению намеченных реформ на железнодорожном транспорте в Украине.

Следует отметить, что, несмотря на значительное количество теоретических разработок в области логистики, в настоящее время методические основы организации и управления МТС железнодорожного транспорта и его подразделений в условиях реформирования отсутствуют. Это определяет актуальность темы.

Постановка задачи. В рыночной среде процессы управления материальными запасами с позиций логистики должны основываться на системе соответствующих показателей, отражающих состояние функционирования этой подсистемы.

Отдельные показатели, используемые в хозяйственной практике для характеристики состояния запасов на предприятии отражены в работах Балабанова И.Т., Ефимовой О.В., Новикова Д.Т., Стояновой Е.С., Ковалевой А.М., Шеремет А.Д., Сайфулина Р.С. и др. [6], а также ряд показателей логистики, описанных в работах зарубежных исследователей Дамари Р., Друри К. и др. [7, 8] не дают целостного методологического подхода к оценке состояния и управления материальными запасами на основе принципов логистики. Вместе с тем, необходимость формирования системы показателей, отражающих состояние запасов материально-технических ресурсов и используемых для эффективного планирования и управления этими запасами на предприятиях железнодорожного транспорта на основе концепции логистики, где

управление запасами является важнейшей функцией, совершенно очевидна.

Результаты. При формировании системы показателей должны учитываться такие требования, как актуальность, точность, ориентированность на получение информации с учетом основных целей логистической подсистемы управления запасами: обеспечение ускоренной оборачиваемости запасов при удовлетворительном обслуживании потребителей и оптимальных издержках на их формирование и хранение. Основными задачами статистики состояния запасов с использованием такой системы показателей будут являться: установление величины материальных запасов и их структу-

ры; выявление динамики их структурных элементов и общей величины; оценка обеспеченности материальными запасами хозяйственных нужд железнодорожного предприятия.

На рис. представлена система показателей для оценки состояния запасов материально-технических ресурсов (МТР) на железнодорожном предприятии на основе логистики. Показатели системы сформулированы с позиций единого методологического подхода, определяются по данным оперативно-статистической отчетности и обеспечивают оценку состояния запасов материально-технических ресурсов за анализируемый период и планирование на перспективу.



Рис. Система показателей для оценки состояния запасов материально-технических ресурсов на железнодорожном предприятии на основе логистики

В основе предлагаемой системы показателей для оценки запасов материально-технических ресурсов лежит показатель стоимости запасов МТР. Он характеризует среднее значение величины капитала, инвестированного предприятием в материальные запасы в анализируемом периоде, и определяется как средняя хронологическая моментного ряда, исчисляемая по совокупности значений показателей в разные моменты времени:

$$I = (1/2I_1 + \dots + 1/2I_n)/(n-1), \quad (1)$$

где I – среднехронологическая стоимость запасов МТР в логистической системе предприятия, грн; I_i – стоимость фактических остатков материально-технических ресурсов на складах на определенные даты анализируемого периода, грн.; n – число дат, на которые взяты фактические остатки.

Для оценки состояния запасов МТР важное значение имеют показатели, характеризующие оборачиваемость материальных запасов, так как ускорение оборачиваемости свидетельствует об эффективности выбранной стратегии управления запасами и ведет к улучшению финансового состояния предприятия.

Показатель оборачиваемости запасов МТР характеризует длительность периода оборота, в течение которого происходит возврат инвестированного в материальные запасы капитала:

$$SP = (I \times t) / TR, \quad (2)$$

где SP – оборачиваемость запасов МТР в логистической системе предприятия, дн.; I – среднехронологическая стоимость запасов МТР в логистической системе предприятия, грн.; t – число дней в анализируемом периоде, дн.; TR – выручка от реализации продукции, грн.

Вторым показателем, характеризующим оборачиваемость материальных запасов в логистической системе предприятия, является коэффициент оборачиваемости материальных запасов. Он позволяет оценить скорость оборота капитала, инвестированного в запасы МТР за анализируемый период, и рассчитывается как отношение длительности анализируемого периода к длительности периода оборота, либо как отношение выручки от реализации продукции к стоимости запасов МТР:

$$K_{sp} = t / SP = TR / I, \quad (3)$$

где K_{sp} – коэффициент оборачиваемости запасов МТР, обороты; t – число дней в анализируемом периоде, дн.; SP – оборачиваемость запасов МТР в логистической системе предприятия, дн.; TR – выручка от реализации продукции, грн.; I – среднехронологическая стоимость запасов МТР в логистической системе предприятия, грн.

Важным показателем для оценки состояния материальных запасов является показатель запасаемости (коэффициент, связывающий капитал и запасы). Он характеризует величину инвестированного в материальные запасы капитала, авансируемого на 1 грн. выручки от реализации продукции и определяется как отношение средней стоимости запасов МТР за анализируемый период к выручке от реализации продукции:

$$ITR = (I / TR) \times 100, \quad (4)$$

где ITR – запасаемость, коп.; I – среднехронологическая стоимость материальных

запасов в логистической системе предприятия, грн.; TR – выручка от реализации продукции, грн.

Эффективность использования запасов МТР оценивается двумя относительными показателями: уровнем рентабельности капитала, инвестированного в запасы и уровнем издержек на формирование и хранение материальных запасов в логистической системе предприятия.

Для корректной оценки эффективности использования запасов МТР необходимо сопоставить рост материальных запасов с ростом объема производства и выручки от реализации продукции. Относительным показателем, позволяющим получить такую оценку, является показатель рентабельности капитала, инвестированного в материальные запасы.

Уровень рентабельности капитала, инвестированного в запасы МТР, определяется как отношение прибыли от реализации продукции за анализируемый период к стоимости запасов МТР и характеризует эффективность использования этого капитала:

$$R_i = (P / I) \times 100, \quad (5)$$

где R_i – рентабельность капитала, инвестированного в запасы МТР, %; P – прибыль от реализации продукции за анализируемый период; I – среднехронологическая стоимость запасов МТР в логистической системе предприятия, грн.;

Уровень издержек на формирование и хранение запасов МТР в логистической системе предприятия характеризует их величину в расчете на 1 грн. выручки от реализации продукции и определяется как отношение величины издержек на формирование и хранение материальных запасов за анализируемый период к выручке от реализации продукции за тот же период:

$$UTCI = (TCI / TR) \times 100, \quad (6)$$

где $UTCI$ – уровень издержек на формирование и хранение запасов МТР в логистической системе предприятия, %; TCI – полные издержки на формирование и хранение запасов МТР в логистической системе предприятия за анализируемый период, грн.; TR – выручка от реализации продукции, грн.

Вывод. Таким образом, предложенная система экономических показателей состояния запасов МТР дает возможность их регулирования, и способствовать повышению эффективности управления запасами МТР железнодорожных предприятий на основе логистической концепции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Планирование логистической стратегии транспортных предприятий/Пшинько А.Н., Савицкий Н.В., Корецкая С.А., Сердюк В.Н.//Збірник наукових праць КУЕТТ. Серія "Економіка і управління", 2004. Вип. 2. – С. 47–53.
2. Логистический подход к управлению материальными запасами/А.Н. Пшинько, С.А. Корецкая// Збірник наукових праць КУЕТТ. Серія "Економіка і управління", 2004. Вип. 5. – С. 227–234.
3. Эффектообразующие факторы в логистической системе, влияющие на стратегию управления материальными запасами предприятия / А. Н. Пшинько, С. А. Корецкая, В. А. Чеботенко// Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Вип. 6, - Дніпропетровськ, 2005. – С. 224–229.
4. Эффективность логистических систем и способы ее оценки / С. А. Корецкая // Новини науки Придніпров'я, № 2. – Дніпропетровськ, 2005. – С. 31–37.
5. Методические основы определения стратегии управления материальными запасами с позиций логистики / С. А. Корецкая // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Вип. 12, - Дніпропетровськ, 2006. – С. 224–229.
6. Новиков Д. Т. и др. Управление материальными ресурсами. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
7. Дамари Р. Финансы и предпринимательство: Финансовые инструменты, используемые западными фирмами для роста и развития организаций / Пер. с англ. Вышинской Е.В. и др. – Ярославль: Елань, 1993. – 222 с.
8. Друри К. Введение в управленческий и производственный учет / Пер. с англ. под ред. С. А. Табалиной. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1994. – 560 с.

Поступила в редколлегию 07.05.2007.

А. Н. ПШИНЬКО (ДИИТ), Е. А. ЛОГВИНЕНКО, Е. В. ЩИПАНОВА, Е. Ю. БУРЯК (ДНУ)

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА НОВЫХ ВИБРОПЛОЩАДКАХ

Наведено аналіз економічної ефективності нової віброплощадки, яка дозволяє за рахунок оптимізації динамічного режиму коливань знижувати прямі витрати цементу, пару, електроенергії на продукцію залізобетону. Дана також оцінка ефективності інвестицій на впровадження таких віброплощадок з урахуванням рекомендацій, розроблених UNCTAD.

Приведен анализ экономической эффективности новой виброплощадки, позволяющей за счет оптимизации динамического режима колебаний снижать прямые затраты на выпускаемую продукцию железобетона по цементу, пару, электроэнергии. Дана также оценка эффективности инвестиций на внедрение таких виброплощадок с учетом рекомендаций, разработанных UNCTAD.

The analysis of economic efficiency of a new vibrating platform is brought, allowing due to optimization of a dynamic mode of fluctuations to reduce direct expenses for let released production of ferro-concrete on cement, pair, the electric power. The estimation of efficiency of investments on introduction of vibrating platforms in view of the recommendations developed UNCTAD is given also.

На предприятиях сборного железобетона формовочный передел по своему влиянию на технико-экономические показатели изготовления изделий имеет решающее значение. Именно в формовочных цехах формируется значительная часть себестоимости железобетонных изделий, сконцентрирована главная часть основных фондов, используется, включая вспомогательное производство, более 30 % заводских трудовых ресурсов [1; 2]. По формовочному переделу определяется мощность предприятия, его производственно-экономический потенциал. От результатов решения проблем формования, которые связаны с низким техническим уровнем серийного формовочного оборудования, зависят экономические показатели работы всего предприятия.

В последние годы в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта и Днепропетровском национальном университете выполнены динамико-технологические исследования по эффективному формованию железобетонных изделий, созданы и внедрены на заводах сборного железобетона и домостроительных комбинатах новые инерционные виброплощадки типа ВА, позволяющие за счет более интенсивных и оптимальных режимов колебаний эффективно разжижать и уплотнять жесткие бетонные смеси, что недоступно серийным виброплощадкам типа СМЖ и вибротумбам ВТ-1 [3; 4]. Технология использования жестких бетонов вместо пластичных позволяет сократить расход цемента и воды, снизить время термовлажностной обработки изделий в пропарочных камерах, и, следовательно, повысить производительность технологических линий. Наряду с этим, более высокий технический уровень виброплощадок ВА, связанный с их меньшей массой и стоимостью, сниженным потреблением электроэнергии, большим сроком службы, дополнительно определяет и ряд других экономических показателей.

Целью статьи является исследование и анализ экономической эффективности новой виброплощадки ВА в сравнении с вибротумбовой площадкой ВТ-1 и оценка целесообразности инвестиций на внедрение таких машин согласно международной практике. В качестве примера выбрана линия по производству пустотных плит перекрытий в объединении «Днепростройиндустрия», при этом в основу сравнительных исходных данных положены фактические технико-экономические и эксплуатационные характеристики, в том числе и с учетом опыта работы инерционной площадки ВА в аналогичных промышленных условиях.

В табл. 1 сведены основные технико-экономические показатели сравниваемых машин, необходимые для расчета эффективности новой технологии формования железобетонных плит. В расчетах индексы 1 и 2 введены в обозначения показателей виброплощадок соответственно ВТ-1 и ВА.

Проведем расчет и анализ эффективности с использованием традиционной методики [5].

Сравнительные технико-экономические показатели работы виброплощадок ВТ-1 и ВА

Наименование показателей	Обозначения	Виброплощадки	
		ВТ-1	ВА
Производительность, м ³ /год	Q	3 200	4 000
Установленная мощность двигателей, кВт	N	37	8
Расход цемента на изготовление пустотной плиты, т/м ³	q	0,28	0,25
Расход пара, Гкал/ м ³	P	0,64	0,59
Срок службы, лет	T	5	10
Стоимость, грн	C	21 500	9 100

1. Снижение себестоимости плит перекрытий за счет экономии цемента определяем по формуле

$$C_{\text{ц}} = (q_1 - q_2) \cdot C_{\text{ц}} \cdot Q_2,$$

где $C_{\text{ц}} = 262,5$ грн – стоимость 1 т цемента марки 400.

$$C_{\text{ц}} = (0,28 - 0,25) \cdot 262,5 \cdot 4\,000 = 3\,150 \text{ грн.}$$

2. Снижение себестоимости за счет экономного использования пара (уменьшение времени пропарки плит на 3,5 часа) рассчитывается следующим образом

$$C_{\text{п}} = (P_1 - P_2) \cdot C_{\text{п}} \cdot Q_2,$$

где $C_{\text{п}} = 25,4$ грн – стоимость 1 Гкал пара.

$$C_{\text{п}} = (0,64 - 0,59) \cdot 25,4 \cdot 4\,000 = 4\,080 \text{ грн.}$$

3. Снижение себестоимости за счет меньшего расхода электроэнергии виброплощадкой ВА можно определить как

$$C_{\text{э}} = (N'_1 - N'_2) \cdot C_{\text{э}} \cdot Q_2,$$

где N'_1 и N'_2 – количество потребляемой электроэнергии виброплощадками ВТ-1 и ВА соответственно; кВт-час; $C_{\text{э}} = 0,28$ грн – стоимость 1 кВт-час электроэнергии.

Формование одной плиты перекрытия ПК63-15 объемом $V = 1,35$ м³ бетона длится $t = 3$ мин. При этом в процессе замеров потребляемые мощности виброплощадок ВТ-1 и ВА составляют соответственно $N_1 = 24$ кВт и $N_2 = 7,8$ кВт. В этом случае в пересчете на 1 м³ бетона

$$N'_1 = \frac{N_1 \cdot t}{V \cdot 60} = \frac{24 \cdot 3}{1,35 \cdot 60} = 0,888 \text{ кВт-час;}$$

$$N'_2 = \frac{N_2 \cdot t}{V \cdot 60} = \frac{7,8 \cdot 3}{1,35 \cdot 60} = 0,288 \text{ кВт-час.}$$

Тогда

$$C_{\text{э}} = (0,888 - 0,288) \cdot 0,28 \cdot 4\,000 = 672 \text{ грн.}$$

4. Кроме перечисленных видов экономии текущих затрат за счет роста производства плит образуется еще и экономия, так называемых, условно-постоянных (лимитированных) расходов. К ним следует отнести цеховые и общепроизводственные затраты. Согласно расшифровке в калькуляции себестоимости продукции они соответственно равны $\Delta_{\text{цех}} = 29,5$ грн/м³ и $\Delta_{\text{пр}} = 27$ грн/м³.

В связи с этим экономия текущих затрат составит

$$C_{\text{цех}} = \Delta_{\text{цех}} (Q_2 - Q_1) = 29,5 \cdot (4\,000 - 3\,200) = 23\,600 \text{ грн,}$$

а общепроизводственных

$$C_{\text{пр}} = \Delta_{\text{пр}} (Q_2 - Q_1) = 27 \cdot (4\,000 - 3\,200) = 21\,600 \text{ грн.}$$

5. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования включают расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт, а также амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт, причем нормы последних составляют соответственно 19,4 и 10,1 %.

Для виброплощадки ВТ-1 общие затраты составляют

$$C_1 = T_1 \cdot \frac{19,4 + 10,1}{100} + C_{\text{IT}},$$

где C_{IT} – годовые затраты на текущее обслуживание и текущий ремонт.

По данным «Днепростройиндустрии»
 $C_{IT} = 1\,150$ грн

$$C_1 = 21\,500 \cdot \frac{19,4 + 10,1}{100} + 1\,150 = 7\,493 \text{ грн.}$$

Для виброплощадки ВА общие затраты составляют

$$C_2 = T_2 \cdot \frac{19,4}{100} + C_{2T},$$

где $C_{2T} = 340$ грн – годовые затраты на текущее обслуживание.

Следует заметить, что в связи с увеличенным сроком службы виброплощадки ВА (10 лет) и ликвидацией капитальных ремонтов отчисления на последние не предусмотрены. Таким образом

$$C_2 = 9\,100 \cdot \frac{19,4}{100} + 340 = 2\,103 \text{ грн.}$$

Следовательно, экономия на содержание и эксплуатацию виброплощадки ВА составит

$$C_3 = C_2 - C_1 = 7\,493 - 2\,103 = 5\,390 \text{ грн.}$$

6. Экономия по основной заработной плате рабочих. Так как новая виброплощадка ВА обеспечивает весь прирост объема производства плит за счет роста производительности труда, то условно экономятся трудовые ресурсы для увеличения прироста объема, т. е. экономится основная зарплата, которая в условиях предприятия составляет 90 % всей заработной платы рабочих. Для расчета используем формулу

$$C_{3n} = (Q_2 - Q_1) 3n \cdot 0,9 (4\,000 - 3\,200) \cdot 19,85 \cdot 0,9 = 15\,352 \text{ грн,}$$

где $3n = 19,85$ грн/м³ – основная и дополнительная зарплата.

7. Экономия по статье начисления на социальное страхование определяем по формуле

$$C_c = C_{3n} \cdot \frac{n}{100\%} = 15\,352 \cdot \frac{38,8}{100} = 5\,956 \text{ грн,}$$

где n – норма отчисления на социальное страхование. По данным предприятия $n = 38,8$ %.

8. Дополнительная чистая прибыль предприятия на рост объема товарной продукции за счет внедрения новой виброплощадки ВА

$$C_{ч.п.} = (Q_2 - Q_1) \cdot P,$$

где $P = 70,4$ грн/м³ – прибыль по данным «Днепростройиндустрии».

$$C_{ч.п.} = (4\,000 - 3\,200) \cdot 70,4 = 56\,320 \text{ грн.}$$

Общий годовой экономический эффект составляет

$$\begin{aligned} C &= C_{ц} + C_{п} + C_{э} + C_{цех} + C_{ип} + C_3 + C_{3n} + C_c + C_{ч.п.} = \\ &= 3\,150 + 4\,080 + 672 + 23\,600 + 21\,600 + 5\,390 + \\ &\quad + 15\,352 + 5\,956 + 56\,320 = 136\,120 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Народнохозяйственный эффект рассчитываем по формуле

$$\Xi = C - E_H \cdot K,$$

где $E_H = 0,15$ – коэффициент использования новой техники; $K = 13\,000$ грн – дополнительные капитальные вложения, связанные с изготовлением виброплощадки ВА и фундамента, а также монтажом и отработкой технологии в процессе научных экспериментов.

$$\Xi = 136\,120 - 0,15 \cdot 13\,000 = 134\,170 \text{ грн.}$$

Наряду с приведенными расчетами целесообразным является оценка эффективности капиталовложений на внедрение виброплощадок ВА с учетом рекомендаций по оценке инвестиций, разработанных UNCTAD [6].

При выборе проектов капитальных инвестиций необходимым условием является их возмещение за счет получаемых выгод, которые чаще всего выступают в виде экономии расходов или дополнительной прибыли.

Наиболее распространенным для оценки инвестиционных проектов является показатель чистых денежных поступлений. Это сумма, на которую дополнительные поступления превышают дополнительные расходы за определенный период или, как в нашем случае, экономия денежных средств за данный период (снижение расходов на различные производственные элементы: цемент, пар, электроэнергию). Также к денежным поступлениям относят амортизационные отчисления, поскольку они являются положительным денежным потоком для предприятия (19,4 % от балансовой стоимости оборудования).

В связи с тем, что общая величина условно-постоянных издержек не изменится вследствие приобретения нового оборудования (уменьшится их удельный вес в себестоимости единицы продукции за счет увеличения объема выпуска), то мы не можем рассматривать это снижение в качестве положительного денежного потока. Подобные рассуждения справедливы и в случае с так называемой «экономией» на оплате труда и отчислениях в социальные фонды.

Чистые денежные поступления в процессе анализа сравнивают с чистыми инвестициями на осуществление проекта. При этом следует учитывать, что эти инвестиции включают не только стоимость оборудования (9 100 + 13 000 грн), но и оплату ежегодных эксплуатационных расходов (340 грн).

Международная практика оценки эффективности инвестиций базируется на концепции стоимости денег во времени и основана на следующих принципах [6]:

1. Оценка осуществляется путем сравнения денежного потока (cash flow), который формируется в процессе реализации инвестиционного проекта, и величины начальной инвестиции. Проект признается эффективным, если обеспечивается возврат начальной суммы инвестиций и доходность.

2. Стоимость первоначальных инвестиций, а также генерируемые ими денежные потоки

приводятся к стоимости в настоящем времени путем дисконтирования по формуле:

$$PV = \frac{FV}{(1+r)^k},$$

где PV – приведенная стоимость денежного потока; FV – будущая стоимость денежного потока; r – стоимость денег во времени.

Наиболее распространенными являются следующие показатели эффективности инвестиционного проекта:

– дисконтированный период окупаемости (DPB);

– чистая приведенная стоимость проекта (NPV);

– внутренняя норма прибыльности (рентабельности) (IRR).

В табл. 2 приведен пример расчета вышеперечисленных показателей.

Таблица 2

Расчет показателей эффективности виброплощадки ВА

	Год реализации проекта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Первоначальные инвестиции	22100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Эксплуатационные расходы		-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340
Амортизационные отчисления		4287	3456	2785	2245	1809	1458	1175	947	764	615
Денежные потоки за счет экономии: цемента		3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150
пара		4080	4080	4080	4080	4080	4080	4080	4080	4080	4080
электроэнергии		672	672	672	672	672	672	672	672	672	672
Денежный поток	22100	11849	11018	10347	9807	9371	9020	8737	8509	8326	8177
Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621	0,564	0,513	0,467	0,424	0,386
Приведенный денежный поток	22100	10772	9105	7774	6698	5819	5092	4484	3970	3531	3153
NPV	38 298 грн										
IRR	34 %										
DPB	2,71 года										

Дисконтированный период окупаемости – это период времени, необходимый для полного возмещения инвестиций за счет чистых денежных потоков, генерируемых этими инвестициями. Учитывая, что расчетный срок эксплуатации виброплощадки ВА составляет 10 лет, а период окупаемости инвестиций меньше 3 лет,

то с позиции этого критерия, проект можно считать эффективным.

Чистая приведенная стоимость – это разница между нынешней стоимостью чистых денежных поступлений и нынешней стоимостью чистых инвестиций. Математически этот показатель можно описать следующим образом:

$$NPV = \sum_{k=0}^n \frac{CF_k}{(1+r)^k},$$

где CF_k – чистый денежный поток k -го периода, грн; r – альтернативная стоимость капитала (10 %).

В случае если чистая приведенная стоимость проекта больше 0, то проект является приемлемым; чем выше NPV, тем более привлекателен проект. По результатам проведенных расчетов получили чистую приведенную стоимость, равную 38 298 грн.

Внутренняя норма доходности – это ставка дисконтирования, при которой чистая приведенная стоимость проекта равна нулю. Внутренняя норма доходности характеризует максимальную стоимость капитала для финансирования инвестиционного проекта. В данном случае она составляет 34 %, что является достаточно высоким значением по сравнению с альтернативной стоимостью капитала – 10 %.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что не только получен значительный экономический эффект от использования новой виброплощадки ВА, но и в соответствии с основны-

ми критериями, которые применяют в мировой практике для оценки целесообразности инвестиций, проект внедрения указанной машины является экономически эффективным

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Граник Ю. Г. Ресурсосберегающие технологии при заводском производстве изделий полно-сборного домостроения // Бетон и железобетон. – 1989. – №10. – С. 10–12.
2. Гусев Б. В. Бетон и железобетон. Справочник. – М.: Стройиздат, 1988. – 250 с.
3. Логвиненко Е. А. Исследование и создание вибрационных машин строительного типа// Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – №1(27). – С. 54-58.
4. Пшінько О. М. Підвищення довговічності бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій. Навчальний посібник. – Д.: ДІТ, 1995. – 100 с.
5. Методика определения эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М., 1977. – 54 с.
6. Голов С. Ф. Управлінський облік. Підручник. – К.: Лібра, 2003. – 704 с.

Поступила в редколлегию 05.03.07.

А. В. РАДКЕВИЧ, С. О. ЯКОВЛЄВ (ДПТ)

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Рассмотрена проблема экономической эффективности использования машин в строительстве. Выполнен количественный анализ вариантов вклада капиталов как в производство строительной техники, так и в ее модернизацию.

Розглянута проблема економічної ефективності використання машин в будівництві. Виконано кількісний аналіз варіантів внеску капіталів як у виробництво будівельної техніки, так і в її модернізацію.

The problem of economic efficiency of the use of machines in building is considered. Executes the quantitative analysis of variants of deposit of capitals both in production of building technique and in its modernization.

Проблема. Створення господарського механізму сучасного ринкового типу складає об'єктивну необхідність в подальшому розвитку теорії, методів і практики ефективного використання машин, проведення своєчасного і якісного ремонту.

Існуючі проблеми полягають в методах організації ефективного використання будівельних машин у ринкових умовах. Параметрами є: рівномірний і нерівномірний їх розподіл на об'єктах, розробка методологічних питань по удосконаленню методів ремонту будівельної техніки, забезпечення запасними частинами і відновлення працездатності машин при випадковому зношенні, а також способів розрахунку вартості послуг по оренді механізації.

При проведенні досліджень особлива увага приділялася питанню планування, організації технічного обслуговування і ремонту засобів механізації в підрозділах механізації Державної спеціальної служби транспорту.

Як показали дослідження, чисельність машин, що застосовується в Держспецтрансслужбі Мінзв'язку дуже велика. В даний час на озброєнні залізничників служби знаходиться понад 2000 од. будівельної техніки, в яких майже 51 % складають основні будівельні машини (такі, як екскаватори, бульдозери, скрепери і т. ін.), інші – більш 5800 од. – це ручні машини, механізований інструмент, інструмент з електро- і пневмоприводом та інші засоби малої механізації. Технічні засоби, середній вік яких перевищив 15-річний рубіж, становлять 70 % їх загальної кількості, але цей показник не повинен бути більшим за 10...15 %.

Такий стан пояснюється не тільки недостатньою засобів механізації, але і недоліками існуючої системи організації їх експлуатації. Вони включають в першу чергу питання забезпечення

загонів Держспецтрансслужби, які займаються будівництвом і відновленням транспортних об'єктів, машинами, а також їх розподілом, доставкою на об'єкт, системою організації ремонту, обслуговування, обліку, збереження та ін.

Основний матеріал. Відомо, що серед стадій життєвого циклу машини (дослідження, проектування, виготовлення, транспортування, експлуатація) найбільш важливе місце займає стадія експлуатації. На ній реалізується, підтримується і встановлюється якість машини.

Переоснащення новими засобами технічного озброєння шляхом придбання нової техніки, повинно забезпечувати покращення показників їх використання (підвищити в 1,3...1,5 рази виробничі можливості щодо відновлення залізниць, штучних споруд та інших об'єктів; підвищення мобільності цієї техніки; впровадження передових технологій). Відповідно до досліджень А. П. Крившина комплекс експлуатаційних властивостей, які задовольняють розумні споживчі властивості самохідної землерийної машини, можна представити у вигляді трьох взаємозалежних систем: «грунт–рушій–робоче устаткування–грунт»; «людина–машина–середовище» і «машина–умови експлуатації».

Встановлено, що не всі експлуатаційні показники машини впливають на купівельну привабливість даного товару.

Дослідження показують, що з позиції системного аналізу більш ефективною при експлуатації буде та машина, яка у більшій мірі відповідає вимогам «системного покупця». Вимоги того або іншого «покупця» нормально збігаються і складаються в підвищенні ефективності власної діяльності методом придбання нових засобів механізації. Ефективність діяльності будь-якого будівельного підприємства пов'язується з ростом прибутковості при мінімізації

затрат. У ринкових умовах шляхами досягнення прибутковості можуть бути пошук більш «поступливих» замовників, готових заплатити більш, або збільшення продуктивності машин та зниження собівартості виконання будівельно-монтажних робіт.

Детальний аналіз економічної ефективності застосування машин в будівництві був здійснений у роботі [1]. З урахуванням узагальнень, основні напрямки підвищення ефективності використання машин зведені до наступного:

– річний економічний ефект за рахунок зниження витрат на експлуатацію машин обчислювався за формулою

$$E_{\text{рік}} = K'_n \left[\frac{H_a C'_6 \chi_m K_{\text{ро}}}{100} \times \left[1 - \frac{1}{K_{\text{рік}}} \right] + (C_{\text{во}} + C_{\text{мзм}})(K_{\text{св}} - 1) \right],$$

де K'_n – коефіцієнт накладних витрат по експлуатації машин;

H_a – нормативи в % річних амортизаційних відрахувань;

χ_m – кількість однотипних машин;

$K_{\text{ро}}$ – ступінь збільшення обсягів робіт у плановому році;

$K_{\text{св}}$ – коефіцієнт підвищення середньогодинної продуктивності машини;

$C_{\text{во}}$ – вартість заміни змінної оснастки;

$C_{\text{мзм}}$ – вартість палива, мастильних і обтирочних матеріалів, витрачених за минулий рік;

– економічний ефект за рахунок скорочення тривалості роботи на об'єкті по залежності:

$$E_n = H_v \cdot g_{y-n} \cdot (1 - 1/K_{\text{рв}}),$$

де H_v – розмір накладних витрат;

g_{y-n} – умовно-постійна частина накладних витрат;

$K_{\text{рв}}$ – коефіцієнт, що враховував підвищення річного виробітку машини.

Встановлено, що економічний ефект від застосування нової машини, або її модернізації, а також машини, що знаходиться в експлуатації, можна визначати за формулою:

$$E_p = (z'_y - z''_y) P''_c,$$

де z'_y, z''_y – відповідно питомі приведені витрати по базовій і новій техніці;

P''_c – річна експлуатаційна продуктивність модернізованої машини.

Спостереженнями встановлено, що із збільшенням обсягу робіт на об'єктах розширюється область ефективного використання машин за рахунок того, що непродуктивні витрати часу скорочуються ($t_{\text{пер}} \rightarrow 0$), а отже,

$$T_{24} \rightarrow \max, \quad T_0 \rightarrow T_{24}, \quad \text{і} \quad Z \rightarrow \min.$$

В сучасних умовах господарювання для одержання максимального прибутку в будівельній організації необхідно зробити оптимальний розподіл засобів механізації при спорудженні об'єктів, а також підвищити коефіцієнт використання машин при виконанні робочих процесів і операцій, що виникли за останні роки. Зміна характеру і умов виробництва будівельних робіт (обсяг робіт на об'єктах, розташування об'єктів один від одного), зміна номенклатури машин та їх технічний стан вимагають дещо іншого підходу до оцінки їх ефективного використання. В умовах становлення ринкової економіки яскраво проявився процес зміни номенклатури будівельних машин. Ці зміни відбуваються за двома напрямками – модернізація і відновлення старих найбільш ефективних машин і поява нових, у ряді випадків високоефективних машин, що застосовуються при впровадженні прогресивних технологій. У кожному конкретному випадку у разі прийняття рішень про придбання чи модернізацію техніки необхідно враховувати економічну доцільність такого рішення з врахуванням майбутніх перспективних напрямків використання придбаної техніки. Розглядаючи в цілому всі ці фактори, слід визнати, що вплив ринку вимагає щораз по-своєму розглядати ефективність використання, або необхідність придбання машини.

Нині роль техніко-економічного аналізу зросла, бо основні показники, що характеризують ефективність заходів зі впровадження нової техніки, технології, організації виробництва, підприємства розраховують і планують самостійно. Звідси і впливає потреба в ретельному аналізі та обґрунтуванні техніко-економічних показників. Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) відносять до найбільш ефективних видів аналізу діяльності щодо виявлення резервів економії витрат матеріальних, трудових і грошових ресурсів на виробництво продукції. Для здійснення цього аналізу використовується звітна, облікова, конструкторсько-технологічна, нормативна й поза облікова інформація.

У цьому напрямку є розробки закордонних вчених. Так, американський вчений Л. Д. Майлс запропонував методику нових принципових технічних рішень, в яких пропонується аналізувати абстрактні функціональні зв'язки в існуючому виробі з урахуванням витрат на їх реалізацію для галузі машинобудування.

В задачах, що розв'язуються з застосуванням зазначеної методики, поки ще не вирішені питання підвищення ефективності експлуатації будівельних машин. В умовах ринкової економіки в період інвестиційної і структурної перебудови будівельного комплексу України ця задача дуже актуальна.

Очевидно, функціонально-вартісний аналіз (ФВА), як один з найбільш результативних інструментів економії ресурсів, дозволить вирішувати задачі ефективної експлуатації і модернізації будівельних машин.

При рішенні задач ефективного застосування будівельних машин ФВА, спрямований на максимальне використання їх потенційних можливостей. Адже кількісна міра вартості одиниці роботи машини з деяким функціональним органом існує тільки потенційно і тільки в сфері її експлуатації може бути перетворена у фактичну величину.

Як цільову функцію ФВА доцільно використовувати показник ефективності капіталовкладень.

Показник відносної ефективності капіталовкладень дозволяє порівнювати варіанти вкладання капіталу у різну будівельну техніку, що відрізняються за вартістю і тривалістю циклу роботи.

Після підстановок і перетворень, які проведені за допомогою рішення рівностей [5;6], розширене значення показника відносної ефективності визначається як

$$E = \frac{\sum_{t=1}^{t_{жцм}} \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{F_i} \gamma_{F_j}}{(1-i)}}{\frac{Bm}{(1+i)^t} + B_{Пс}^t + H^t + U^t + A^t} \rightarrow \max.$$

Оцінка ефективності капіталовкладень в будівельну техніку зв'язана на практиці трьома основними проблемами:

- складністю визначення ступеня використання машин по роках експлуатації;
- труднощами обліку продуктивності машини;
- складністю прогнозування значень коефіцієнта дисконтування і податкової ставки і інфляції по роках.

Висновок

Таким чином цільова функція ФВА і показник її відносної ефективності дозволяють зробити кількісний аналіз варіантів вкладання капіталів як у виробництво будівельної техніки, так і в її модернізацію. При цьому не робиться розходження між одноразовими і поточними потоками капіталу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Долотов А. В. Эффективное использование строительной техники / А. В. Долотов, В. Н. Семешко, О. Р. Винокур, И. Н. Ляшенко – К.: Будівельник, 1989.-144 с.
2. Назаренко И. И. Основы модернизации строительных машин / И. И. Назаренко, В. А. Пенчук, В. И. Сердюк. – К.: МП «Леся», 2003, - 164 с.
3. Сердюк В. І. Вибір та ефективне використання будівельної техніки. Техніка будівництва, 2002, № 11, с.71-74.
4. Крившин А. П. Эксплуатационные свойства и эффективность землеройно-транспортных машин. – М.: Транспорт, 1975. – 240 с.
5. Чумаченко Н. Г. Функционально-строительный анализ / Н. Г. Чумаченко, В. М. Дегтярева, Ю. С. Игумков. – К.: Вища шк. Головне видавництво, 1985. – 223 с.
6. Назаренко І. І. Основы організації використання і ремонту будівельної техніки / І. І. Назаренко, В. І. Сердюк. – К., МП «Леся», 2003, - 154 с.

Надійшла до редколегії 09.07.2007 р.

Наукове видання

ВІСНИК

**Дніпропетровського
національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Випуск 19

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерна верстка *Я. І. Зайц, Т. В. Шевченко*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Здано до набору 25.12.2007. Підписано до друку 25.12.2007. Формат 60×84 1/8.

Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 29,04.

Обл.-вид. арк. 30,61. Тираж 100 прим. Зам. № 1983. Вид. № 107.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, www.diitrvv.dp.ua, admin@diitrvv.dp.ua