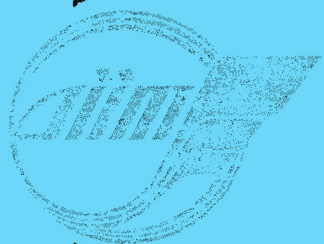


86
Д.54

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 6

Дніпропетровськ
2005

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 6

Дніпропетровськ
2005

Редакційна колегія:

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

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

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 18.04.2005, протокол № 10

В53

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 6. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. – 238 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, екологія на транспорті, економіка транспорту, моделювання задач транспорту та екології, рухомий склад і тяга поїздів, транспортне будівництво.

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

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

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

ББК 39.2

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

В. В. БЕЗРУКОВ, К. В. ГОНЧАРОВ (ДИИТ) ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА В РЕЖИМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК.....	6
А. В. ЗАВГОРОДНИЙ (ГП Приднепровская ж. д.), В. И. ГАВРИЛЮК (ДИИТ) МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	11
В. И. ПРОФАТИЛОВ (ДИИТ) МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЯКОРЯ РЕЛЕ ПО МАГНИТНОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ РАБОЧЕГО ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА.....	16

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ, О. В. КОПТИЛАЯ (ДИИТ) ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ РАЗЛИВАХ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	22
І. М. КОРНІЄНКО, М. Д. ВОЛОШИН, О. І. ПОЛЯНЧИКОВ (Дніпродзержинський державний технічний університет) ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ БІОСОРБЦІЇ ТА БІОАКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГІДРОБІОНТІВ <i>HERPRODELLA OSTOCULATA</i> , <i>ASELLUS AQUATICUS</i> ТА АКТИВНОГО МУЛУ, ВИЛУЧЕНИХ З ОЧИСНИХ СПОРУД м. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА	28
Ю. В. ОНИЩЕНКО, В. М. ПЛАХОТНИК (ДИИТ) ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ	32

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОЛОГІЇ»

Ю. С. БАРАШ, А. А. БОСОВ (ДИИТ), Г. Н. КИРПА (Министерство транспорта и связи Украины) ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ	36
А. А. БОСОВ, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ, М. Б. КУРГАН (ДІТ), А. П. ЗУБКО (Укрзалізниця) ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРУ РЕКОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ	49
А. А. БОСОВ (ДИИТ), Б. П. ПИХ (Львовская ж. д.) ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ ОПТИМИЗАЦИИ ЛАГРАНЖА.....	57
Т. KLIEŠTIK, A. BIELIKOVÁ (Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDaS, Katedra ekonomiky, Slovakia) SCIENTIFIC, QUANTITATIVE DECISION MODELS IN ROAD TRANSPORT CORPORATIONS IN SLOVAK REPUBLIC.....	67
В. В. СКАЛОЗУБ (ДИИТ), О. В. СОЛТЫСЮК (ТМСофт, г. Киев), В. В. СКАЛОЗУБ (НГУ) МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБОБЩЕННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ С УЧЕТОМ ИНТЕРЕСОВ МНОЖЕСТВА СОБСТВЕННИКОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОННЫХ ПАРКОВ	70

РОЗДІЛ «РУХОМІЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

В. К. БРУЯКИН, А. А. МИЩЕНКО, О. М. САВЧУК (ДИИТ) ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛУВАГОНОВ НА ТЕЛЕЖКАХ МОДЕЛИ 18-781	77
І. О. ВАКУЛЕНКО (ДІТ) ВПЛИВ СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ НА ОДНОРІДНІСТЬ РОЗПОДІЛУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПЛАСТИЧНІЙ ТЕЧІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ	81

І. О. ВАКУЛЕНКО, М. М. ГРИЩЕНКО (ДІТ), В. Г. РАЗДОБРЄЄВ (ІЧМ НАНУ) ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ЧАСТКИ ЗМІЩЕНОГО ШАРУ В ПРОКАТІ З ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ.....	85
V. BARTOŠOVÁ, K. IVÁNKOVÁ, J. MAJERČÁK (Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDaS, Katedra ekonomiky, Slovakia) MAJOR TECHNICAL FEATURES OF TGV TRAIN SYSTEMS.....	88
П. Є. МИХАЛІЧЕНКО (ДІТ) ХАРАКТЕР ТА ВЕЛИЧИНА ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСОВОГО З'ЄДНАННЯ БУКСОВОГО ВУЗЛА ВАГОНІВ.....	92

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

К. Ю. БЕЗКРОВНИЙ, В. М. КОСЯК, Б. В. САВЧИНСЬКИЙ (ДІИТ) ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «РЕРК» – ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПІДБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕТИНІВ ЕЛЕМЕНТІВ І ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ ПРОГІННИХ БУДОВ МОСТІВ	102
В. І. БОРЩОВ, В. І. КЛИМОВ (ДІТ) АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ З ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСІВ РУХОМОГО СКЛАДУ І УМОВ ЙОГО ПРОПУСКУ ПО МОСТАХ	105
О. И. ДУБИНЧИК (ДИИТ) ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ БЕТОНА И АРМАТУРЫ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ	109
О. Л. ЗАКОРА (ДІТ) АРХІТЕКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ МОСТІВ	113
А. Л. ЗАКОРА (ДІТ) ГАШЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	118
В. Г. КУЗНЕЦОВ (ДИИТ) СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	124
Н. И. МАЛЬКОВ, А. В. РАДКЕВИЧ, И. Д. ПАВЛОВ, Ф. И. ПАВЛОВ (ДИИТ) ВЫРАБОТКА РЕШЕНИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И ИНТЕГРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА	126
М. М. ПОПОВИЧ, О. С. МИРОНЮК, В. І. БОРЩОВ (ДІТ) ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКОВИХ ПРОГІННИХ БУДОВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШПРЕНГЕЛІВ І ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТРИЖНІВ	131
О. С. РАСПОПОВ, Т. Ф. ХАРИТОНОВА, В. І. БОРЩОВ (ДІТ) ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПРОГІННИХ БУДОВ ТИПУ 690/7К	133
В. П. РЕДЧЕНКО (Спеціалізоване підприємство «Мост-сервіс») ВИПРОБУВАННЯ ПРОГІННИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ РУХОМИМ НАВАНТАЖЕННЯМ	140
Т. А. СЕЛИХОВА (ДИИТ) ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ В ВИДЕ СЛОЯ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МКЭ	143
К. И. СОЛДАТОВ (ДИИТ) ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВИСЯЧИХ МОСТОВ.....	150
К. И. СОЛДАТОВ (ДИИТ) СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВИСЯЧИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ.....	157
К. І. СОЛДАТОВ, В. І. БОРЩОВ (ДІТ), Ю. Ю. СІЛІНА (Дніпродіпротранс) ДО ПИТАННЯ ПРО КЛАСИФІКАЦІЮ ОПОР ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ ПІД ДВІ КОЛІЇ	162
В. И. СОЛОМКА, В. Л. ГОРОБЕЦ, В. И. БОРЩОВ (ДИИТ) МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СТРУКТУРЫ ИХ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ	174
В. И. СОЛОМКА, В. Л. ГОРОБЕЦ, В. И. БОРЩОВ (ДИИТ) ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СТРУКТУРЫ ИХ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ	180
Б. Д. СУХОРУКОВ, Б. В. САВЧИНСКИЙ, М. К. ЖУРБЕНКО (ДИИТ) ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МОСТОВЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ, ОПОРЫ КОТОРЫХ ПОДВЕРЖЕНЫ НЕРАВНОМЕРНЫМ ОСАДКАМ И КРЕНАМ	186

В. П. ТАРАСЕНКО (ДІТ) ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЬ ПРОГІННИХ БУДОВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЖИМУ РУХУ ПОЇЗДІВ ПО МОСТАХ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ	190
В. П. ТАРАСЕНКО (ДІИТ) К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАСШТАБА ЗАПИСЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИБОРА ГЕЙГЕРА КАК ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГИБОМЕРА С ПРОВОЛОЧНОЙ СВЯЗЬЮ	197
В. П. ТАРАСЕНКО, В. Н КОСЯК, В. Л. РЫКИНА (ДІИТ) РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТ АРОЧНОГО МОСТА С РЕБРИСТЫМИ АРКАМИ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОПОР	201
Т. Ф. ХАРИТОНОВА, В. І. БОРЩОВ (ДІТ) ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПРОГІННИХ БУДОВ РОЗРАХУНКОВИМ ПРОГОНОМ 110 м СЕРІЇ 3.501.2-139	207

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

А. И. БЕЛОКОНЬ, Д. Л. ЛЕВЧИНСКИЙ (ПГАСиА) ПЕРЕУСТРОЙСТВО ОРГАНИЗАЦИЙ В НАПРАВЛЕНИИ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ	212
A. BIELIKOVÁ, T. KLIESTIK (Žilinská univerzita v Žiline, F-PEDaS, Slovakia) CORPORATE IDENTITY PROJECT FOR PROSPERITY OF TRANSPORT ORGANIZATION	216
V. BARTOŠOVÁ, J. MAJERČÁK (Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDaS, Katedra ekonomiky, Slovakia) TO THE CONCEPT OF OPTIMAL INDEBTEDNESS IN COMPONENTS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS	218
Л. М. ДРАГУН, П. А. ФІСУНЕНКО, М. О. БОРОДІН (ПДБіА) ВИКОРИСТАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПРИЙНЯТТІ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В МЕНЕДЖМЕНТІ ПЕРСОНАЛУ	220
А. Н. ПШИНЬКО, С. А. КОРЕЦКАЯ, В. А. ЧЕБОТЕНКО (ДІИТ) ЭФФЕКТООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТРАТЕГИЮ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ	224
Т. Г. МОЛОДЧЕНКО-СЕРЕБРЯКОВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства) МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОГО ФОНДА В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	229
V. FARKAŠOVÁ, T. KLIESTIK, (Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDaS, Katedra ekonomiky, Slovakia) HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN SLOVAK TRANSPORT COMPANY	232
А. М. ЯКИМОВА (Гідромонтажспецбуд) ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ОПЕРАЦІЙНИМИ ГРОШОВИМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВІ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЇ ЗРОСТАННЯ РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	234

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА В РЕЖИМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК

Проведено дослідження здатності циклічного коду виявляти помилки різної кратності. Отримана залежність коефіцієнта виявлення від числа перевірочних елементів в області негарантованого виявлення. Адекватність розроблених моделей підтверджується збігом результатів машинного експерименту і схемотехнічного моделювання.

Проведены исследования обнаруживающей способности циклического кода при наличии ошибок различной кратности. Получены зависимости коэффициента обнаружения от числа проверочных элементов в области негарантированного обнаружения. Адекватность разработанных моделей подтверждается совпадением результатов машинного эксперимента и схемотехнического моделирования.

A research of discovering capacity of cyclic code, in presence of errors of different repetition factor, has been performed in the paper. Dependence of the discovery coefficient on the number of verification elements in the area of the assured discovery has been obtained. Adequacy of the developed models has been confirmed by coincidence of machine experiment results and circuit simulation results.

Введение

Одним из направлений повышения эффективности железнодорожного транспорта Украины является развитие автоматизированных систем управления (АСУ), создание интегрированных центров управления перевозочным процессом [1]. В функции АСУ входит сбор и передача дискретной информации о состоянии контролируемых объектов, а также формирование и передача команд управления исполнительными устройствами. Таким образом, от достоверности передачи дискретной информации во многом зависит эффективность АСУ.

В системах передачи дискретной информации для повышения достоверности широко используют циклические коды [2–4], позволяющие обнаруживать и (или) исправлять ошибки. Вероятность обнаружения ошибок зависит от статистики ошибок в канале передачи данных и параметров циклического кода, в первую очередь от минимального кодового расстояния. Известно, что код с минимальным кодовым расстоянием d_0 позволяет гарантированно обнаружить $(d_0 - 1)$ ошибок в кодовой комбинации. Например, если $d_0 = 3$, то гарантированно обнаруживаются одно- и двукратные ошибки. К сожалению, к настоящему времени недостаточно исследована способность циклического кода обнаруживать ошибки с большой кратностью. Для кода с

$d_0 = 3$ неизвестна вероятность обнаружения трех-, четырехкратных ошибок и т. д. Исследование данного вопроса позволит дать рекомендации по выбору циклического кода при проектировании систем передачи дискретной информации.

Целью работы является исследование обнаруживающей способности циклического кода при наличии ошибок различной кратности.

Схемотехническое моделирование

На рис. 1 представлена структурная схема устройства для исследования обнаруживающей способности циклического кода. В состав устройства входят: источник сообщений, кодер, источник ошибок, сумматор, регистр-делитель, логические элементы, счетчик переданных блоков данных, счетчик обнаруженных ошибок, а также блок синхронизации. Источник сообщений формирует случайную последовательность двоичных элементов, к которым в кодере добавляются проверочные элементы в соответствии с выбранным циклическим кодом. Таким образом формируется блок данных. С помощью сумматора по модулю два в соответствии с комбинацией ошибок отдельные элементы блока данных инвертируются. В регистре-делителе выполняется деление полученного пакета на образующий полином.

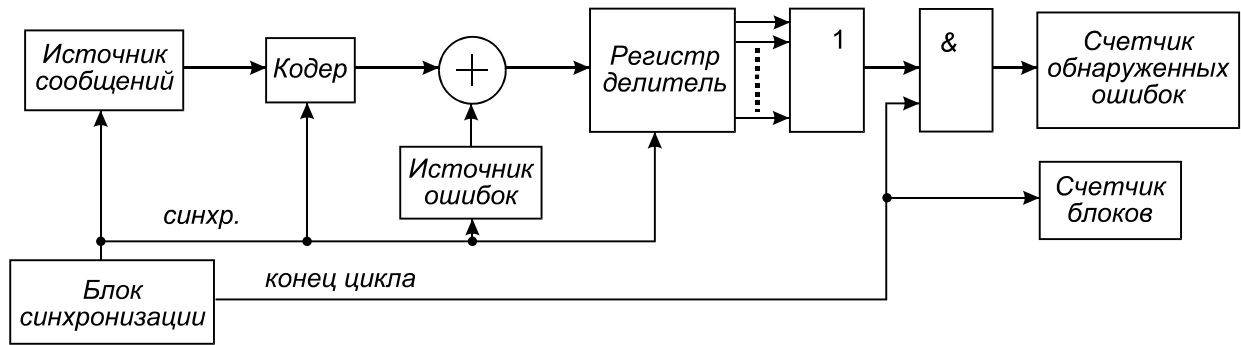


Рис. 1. Структурная схема устройства для исследования обнаруживающей способности циклического кода

При получении ненулевого остатка принимается решение о наличии ошибки. Количество переданных блоков (N) и количество обнаруженных ошибок ($N_{\text{обн}}$) регистрируется счетчиками. По показаниям счетчиков могут быть определены коэффициенты обнаружения и не обнаружения ошибок по блокам

$$K_{\text{обн}} = \frac{N_{\text{обн}}}{N}, \quad (1)$$

$$K_{\text{нобн}} = \frac{N - N_{\text{обн}}}{N}. \quad (2)$$

С помощью системы автоматизированного проектирования OrCAD 9.1 была разработана схемотехническая модель описанного устройства. В качестве источника сообщений был использован семиразрядный регистровый датчик квазислучайной последовательности, кодер и регистр-делитель построены в соответствии с циклическим кодом (7,4). Источник ошибок был реализован в виде семиразрядного регистра сдвига. Начальной установкой триггеров регистра выбиралась кратность ошибок.

Проведенное схемотехническое моделирование показало, что циклический код (7,4) с минимальным кодовым расстоянием $d_0 = 3$ позволяет гарантированно обнаруживать не только одно- и двукратные, но и пяти-, шестикратные ошибки. Семикратные ошибки не обнаруживались. Способность обнаруживать трех- и четырехкратные ошибки зависит от положения ошибочных элементов в блоке. Например, блок с ошибками в первом, третьем, пятом элементах фиксировался как ошибочный. В тоже время при передаче блока с искаженными первым, третьим, четвертым элементами ошибка не была зарегистрирована.

К сожалению, схемотехническая модель не позволяет провести полноценное исследование, так как для разных циклических кодов необхо-

димо изменять схему устройства. Для кодов с большим числом проверочных элементов схемы кодера и регистра-делителя значительно усложняются.

Статистическое моделирование

Для исследования способности циклического кода обнаруживать кратные ошибки в среде Delphi была разработана программа, упрощенный алгоритм которой представлен на рис. 2. На рис. 3 показан графический интерфейс программы. Исходными параметрами для моделирования являются: длина блока n , количество информационных элементов k , минимальное кодовое расстояние d_0 , образующий полином $P(x)$ и количество блоков N (количество испытаний). По значениям n и k вычисляется количество проверочных элементов r . С помощью функции Random формируются информационные элементы, а также определяется порядковый номер элементов с ошибками. Кодирование и декодирование данных выполняется в соответствии с выбранным циклическим кодом. После запуска программы для каждой кратности ошибок выполняется N испытаний, в каждом из которых анализируется остаток от деления пакета данных на образующий полином. В результате вычисляются коэффициенты обнаружения и не обнаружения ошибок. Полученные данные выводятся в табличной форме, а также в виде диаграмм.

С помощью описанной программы были получены зависимости коэффициента обнаружения от кратности ошибок для кода (7,4) $d_0 = 3$ (рис. 4), для кода (15,11) $d_0 = 3$ (рис. 5, а), а также для кода (15,7) $d_0 = 5$ (рис. 5, б). Как показывают диаграммы, представленные на рис. 4, данные машинного эксперимента согласуются с результатами схемотехнического моделирования, что подтверждает адекватность разработанных моделей.

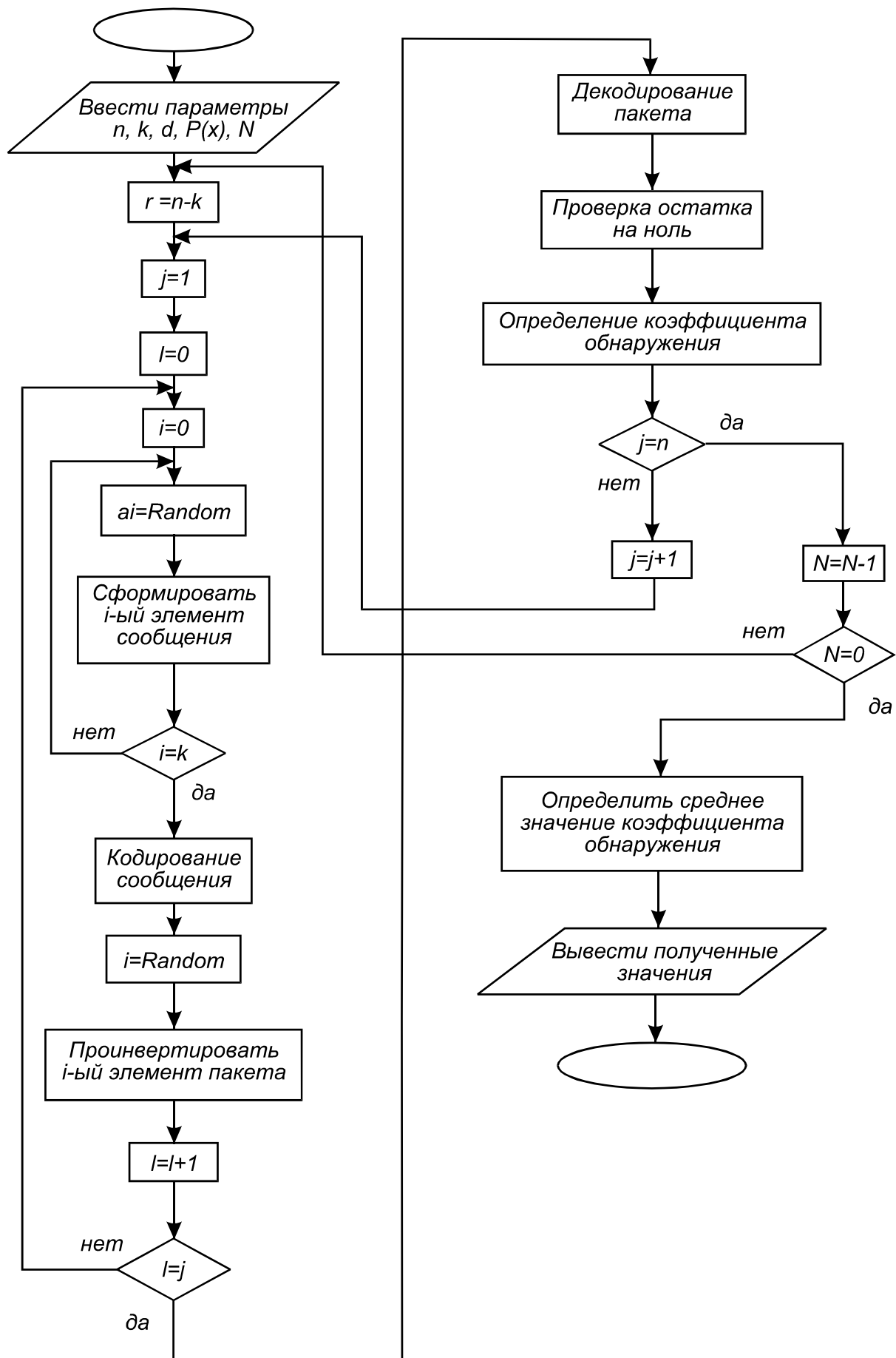


Рис. 2. Алгоритм программы для исследования циклического кода

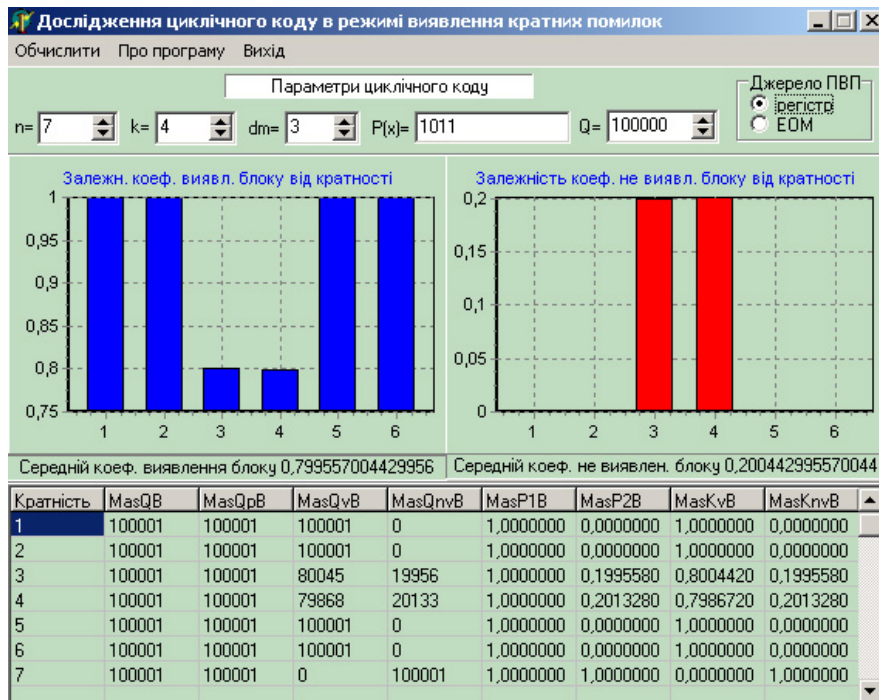


Рис. 3. Графический интерфейс программы

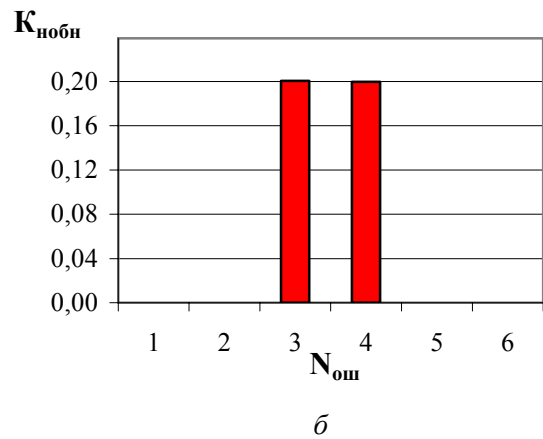
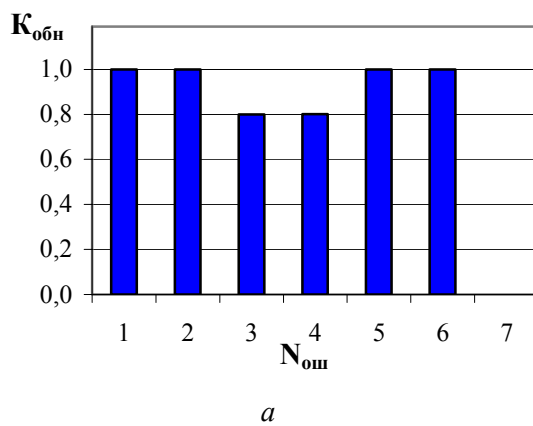


Рис. 4. Зависимость от кратности ошибок для кода 7,4:
а) коэффициента обнаружения; б) коэффициента не обнаружения

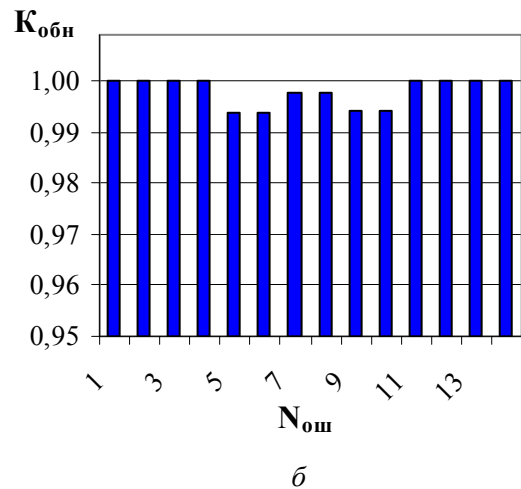
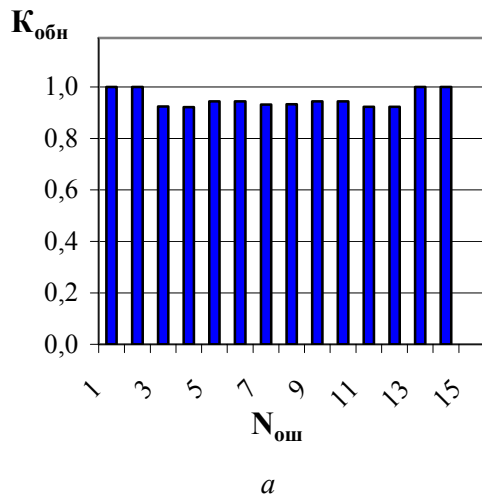


Рис. 5. Зависимость коэффициента обнаружения от кратности ошибок:
а) для кода 15,11; б) для кода 15,7

Анализ полученных результатов (см. рис. 4, 5) показывает, что для каждой диаграммы можно выделить следующие области:

1. Области гарантированного обнаружения ошибок, в которых коэффициент обнаружения равен единице, а кратность ошибок находится в одном из следующих диапазонов:

$$1 \leq N_{\text{ош}} \leq d_0 - 1, \quad (3)$$

$$n - d_0 + 1 \leq N_{\text{ош}} \leq n - 1, \quad (4)$$

где n – длина блока данных.

2. Область негарантированного обнаружения ошибок, в которой коэффициент обнаружения меньше единицы, а кратность ошибок лежит в диапазоне

$$d_0 \leq N_{\text{ош}} \leq n - d_0. \quad (5)$$

3. Область гарантированного не обнаружения ошибок, для которой $K_{\text{обн}} = 0$, $N_{\text{ош}} = n$.

Проведенные исследования показали, что подобные области наблюдаются также для цик-

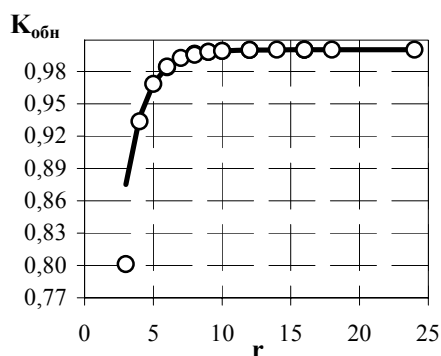
лических кодов с большим кодовым расстоянием и большой длиной блока n .

Были также проведены исследования обнаруживающей способности циклического кода в области негарантированного обнаружения ошибок для разного числа проверочных элементов. Полученные зависимости (рис. 6) показывают, что чем больше проверочных элементов, тем выше обнаруживающая способность кода. На рис. 6 представлены также следующие зависимости:

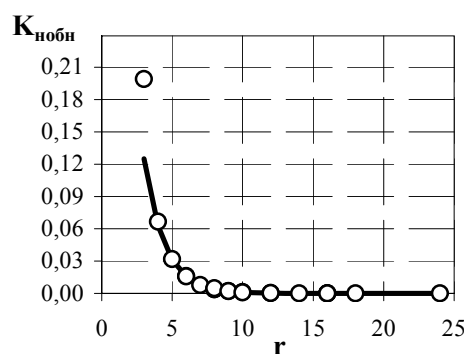
$$K_{\text{обн}} = \frac{2^r - 1}{2^r}, \quad (6)$$

$$K_{\text{нобн}} = \frac{1}{2^r}, \quad (7)$$

где r – количество проверочных элементов в блоке. Как видно, зависимости (6), (7) достаточно хорошо согласуются с результатами машинного эксперимента. Это позволяет использовать выражения (6), (7) для оценки эффективности циклического кода в области негарантированного обнаружения.



а



б

Рис. 6. Зависимость от числа проверочных элементов:
а) коэффициента обнаружения; б) коэффициента не обнаружения;
точки – машинный эксперимент; линия – аппроксимирующая функция

Выводы

В результате проведенного схемотехнического и статистического моделирования исследована обнаруживающая способность циклического кода при наличии ошибок различной кратности. В зависимости от числа ошибок выделены области гарантированного и негарантированного обнаружения. Получены зависимости коэффициента обнаружения от числа проверочных элементов в области негарантированного обнаружения ошибок. Результаты данного исследования могут быть использованы при проектировании систем передачи дискретной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с. – Офіційне видання.
2. Пуртов Л. П. Элементы теории передачи дискретной информации / Л. П. Пуртов, А. С. Замрий, А. И. Захаров и др.; Под ред. Л. П. Пуртова. – М.: Связь, 1972. – 232 с.
3. Каллер М. Я. Теоретические основы транспортной связи / М. Я. Каллер, А. Ф. Фомин. – М.: Транспорт, 1989. – 383 с.
4. Чернега В. С. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.

Поступила в редколлегию 04.10.2004.

А. В. ЗАВГОРОДНИЙ (ГП Придніпровська ж. д.), В. І. ГАВРИЛЮК (ДИИТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проведено аналіз впливу системи тягового електропостачання двоколіїної ділянки залізниці з різними видами електричної тяги на двох коліях на роботу рейкових кіл на основі розробленої математичної моделі, що враховує індуктивний вплив струму в контактному проводі та розтікання струму в землі. Проведено розрахунки зворотного тягового струму та потенціалу рейок.

Проведен анализ влияния системы тягового электроснабжения двухпутного участка железной дороги с различающимися видами электрической тяги на двух путях на работу рельсовых цепей на основе разработанной математической модели, которая учитывает индуктивное влияние тока в контактом проводе и протекание тока в земле. Проведены расчеты обратного тягового тока и потенциала рельсов.

The paper carries out analysis of the influence of traction power supply system for double-track railway section with different kinds of traction on the work of rail circuits on the basis of developed mathematical model. The model takes into account inductive influence of current in the contact wire and the current «spillage» in the ground. Calculations have been made of reverse tractive current and the potential of rails.

Введение

Происходящее в последние годы в Украине техническое переоснащение железных дорог с вводом в эксплуатацию новых магистралей с ускоренным, а в ближайшей перспективе и со скоростным движением поездов, развитие сети международных транспортных коридоров, разработка новых типов подвижного состава (электропоездов и вагонов с импульсными преобразователями), внедрение новых компьютерно-информационных систем регулирования движения поездов [1], – сделало особо актуальной проблему обеспечения электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения (СТЭ) с устройствами железнодорожной автоматики и связи.

При проектировании скоростных магистралей на участках с электрической тягой постоянного тока предложено параллельно существующим путям проложить новые для скоростного движения с электротягой переменного тока. В связи с этим возникает проблема обеспечения их электромагнитной совместимости. Однако вопросы электромагнитного взаимодействия железнодорожных путей с различными видами электротяги малоизучены. Нормативных документов по допустимым уровням влияния тягового электроснабжения на линии автоматики в Украине нет, а для оценки влияния СТЭ на линии связи используют устаревшие нормативные документы, не учитывающие техническое переоснащение отрасли [2].

Математическая модель

Система тягового электроснабжения для каждого пути двухпутного участка дороги состоит из контактного провода, несущего троса и двух рельсов, связанных через сопротивления утечки с землей (рис. 1). Кроме того, к контактной подвеске может быть параллельно присоединен усиливающий провод [2].

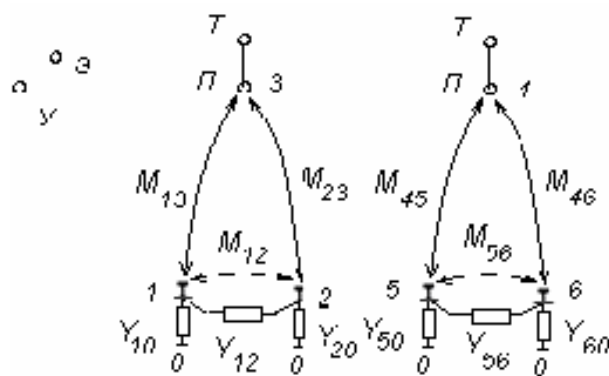


Рис. 1. Схематическое представление расположения линий двухпутного участка:
У – усиливающий провод; Э – экранирующий (обратный) провод; Т – несущий трос;
П – контактный провод; 1, 2, 5, 6 – рельсы

Напряжение на контактном проводе наводит в рельсовой линии электростатические потенциалы относительно земли (электрическое влияние), переменный ток, протекающий в проводе при движении электропоезда, наводит продольную электродвижущую силу (ЭДС), которая вызывает протекание в рельсовых нитках тока (электромагнитное влияние). Обрат-

ный тяговый ток, протекающий по рельсовой линии, оказывает кондуктивное влияние. Поскольку сопротивление изоляции рельсов от земли не достаточно высоко, часть тягового тока стекает с рельс в землю и оказывает кондуктив-

ное влияние на работу соседних рельсовых цепей. Для адекватного описания электромагнитных процессов в системе тягового электроснабжения используют эквивалентную схему в виде системы многопроводных длинных линий [2–7].

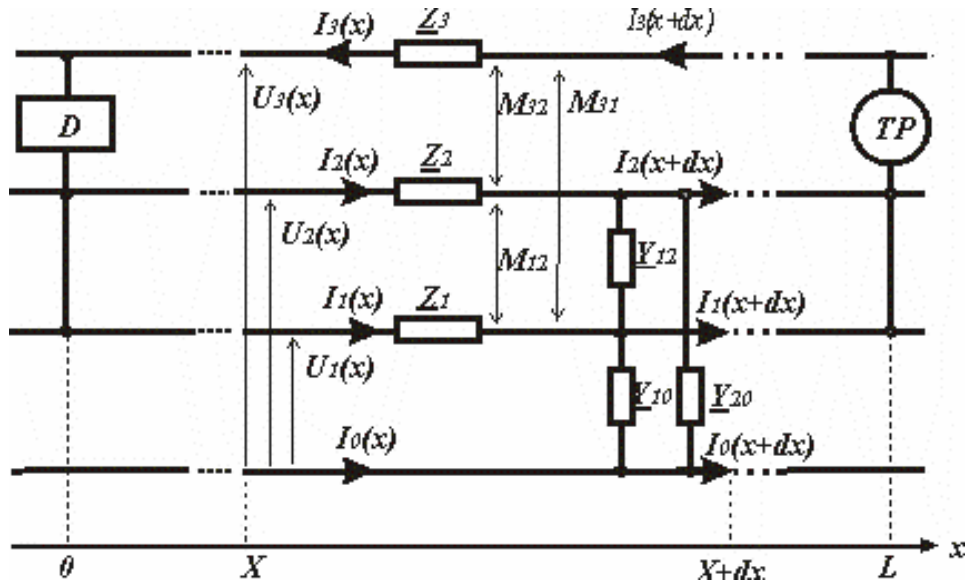


Рис. 2. Схема тягового электроснабжения одного пути

На рис. 2 приведена эквивалентная схема системы тягового электроснабжения для одного пути двухпутного участка железной дороги. Нулевая линия соответствует проводимости земли, линии 1, 2 – рельсовым нитям с потенциалами U_1 , U_2 относительно земли, линии 3 – контактному проводу с потенциалом U_3 . Комплексные проводимости между рельсовыми нитями первого и второго пути и частичные проводимости между каждым рельсом и землей обозначены соответственно через Y_{12} , Y_{10} , Y_{20} . Взаимные индуктивности между линиями i и j обозначены через M_{ij} . Активной и емкостной проводимостью между контактными проводами и рельсами в данном исследовании пренебрегаем вследствие их малости. Дифференциальные уравнения для напряжений U_i и токов I_i ($i = 0 \dots 4$) имеют вид [2–7]:

$$\frac{dU_1}{dx} = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 - Z_{13}I_3, \quad (1)$$

$$\frac{dU_2}{dx} = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 - Z_{23}I_3, \quad (2)$$

$$\frac{dU_3}{dx} = Z_{31}I_1 + Z_{32}I_2 - Z_{33}I_3, \quad (3)$$

$$\frac{dI_1}{dx} = -Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2, \quad (4)$$

$$\frac{dI_2}{dx} = Y_{21}U_1 - Y_{22}U_2, \quad (5)$$

где

$$Z_{11} = R_1 + jX_{L1}, \quad Z_{22} = R_2 + jX_{L2},$$

$$Z_{31} = R_3 + jX_{L3},$$

$$Y_{11} = Y_{12} + Y_1, \quad Y_{11} = Y_{22} + Y_2.$$

При написании этих уравнений пренебрегли электромагнитным влиянием сигнального тока в рельсах на ток в контактном проводе вследствие его малости. Для двухпутного участка запишем дифференциальные уравнения в матричном виде

$$\frac{d\vec{U}}{dx} = |\underline{Z}| \vec{I}, \quad (6)$$

$$\frac{d\vec{I}}{dx} = |\underline{Y}| \vec{U}, \quad (7)$$

где $\vec{U}$, $\vec{I}$ – векторы напряжения и тока; $|\underline{Z}|$, $|\underline{Y}|$ – матрицы взаимных сопротивлений и проводимостей Z_{ij} , Y_{ij} . Значения активного и ре-

активного сопротивлений рельсовой нити для тягового и сигнального токов зависят от значения и частоты тока и приведены в литературе [3]. Для расчета можно использовать формулы Л. Неймана, которые дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными [7]

$$R_l = \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad X_l = 0,6 \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad (8)$$

где l – длина проводника; u – периметр его сечения; ρ – удельное сопротивление стали; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; μ_e – магнитная проницаемость рельсовой стали, значение которой определяется экспериментально по измеренной кривой намагничивания.

Полное погонное (на 1 км длины) сопротивление рельсовой нити можно определить по формуле

$$Z_{ii} = (r_i + r_c) + X_i, \quad (9)$$

где r_i , X_i – соответственно активное и реактивное сопротивление рельсовой нити длиной 1 км (без соединителей); r_c – сопротивление рельсовых соединителей на 1 км рельсовой нити. Взаимную индуктивность между двумя рельсами, а также между рельсом и контактным проводом можно определить по известной формуле [3]

$$M_{ij} = 10^{-4} \left[1 + 2 \ln \frac{2}{1,78(a-r)\sqrt{4\pi\sigma\omega}} - j \frac{\pi}{2} \right],$$

где a – расстояние между проводниками; r – радиус эквивалентного круга с длиной окружности, равной периметру сечения рельса; σ – удельная проводимость земли.

Введем коэффициенты, характеризующие продольную и поперечную асимметрию рельсовой линии:

$$K_i = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} = \frac{I_1 - I_2}{2I}, \quad (10)$$

$$K_u = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} = \frac{U_1 - U_2}{2U}, \quad (11)$$

$$K_z = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_1 - Z_2}{2Z}, \quad (12)$$

$$K_Y = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 + Y_2} = \frac{Y_1 - Y_2}{2Y}. \quad (13)$$

Преобразуем (1)–(5) с учетом (10)–(13)

$$\frac{d\dot{U}}{dx} = -\underline{Z}_0 \dot{I} + \underline{Z}_M \dot{I}_3, \quad (14)$$

$$\frac{d\dot{I}}{dx} = -\underline{Y}_0 \dot{U}, \quad (15)$$

где $Z_0 = (1 - K_I K_Z) Z$, $Y_0 = (1 + K_U K_Y) Y$.

Уравнения (14), (15) имеют известные решения

$$U(x) = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x}, \quad (16)$$

$$I(x) = -\frac{1}{Z_c} [C_1 e^{\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x}] + m I_3, \quad (17)$$

где $m = \frac{Z_{31}}{Z_1 + Z_{21}}$.

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из граничных условий при $x = 0$ и $x = L$.

Для случая, когда сопротивление изоляции балласта соответствует нормативному нижнему пределу 1 Ом/км, что является неблагоприятным для выполнения шунтового режима работы рельсовых цепей, выражения для постоянных интегрирования упрощаются:

$$C_1 = \frac{1}{2} (m - 1) Z_c I_3, \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{1}{2} (m - 1) Z_c I_3. \quad (19)$$

Продольная и поперечная асимметрия рельсовой линии приводит к появлению тока асимметрии в рельсовых линиях и разности потенциалов между ними. Поскольку для рельсов пути с тягой постоянного тока контактный провод соседнего пути с электротягой переменного тока расположен несимметрично, между рельсовыми линиями появляется переменное напряжение. Таким образом, СТЭ переменного тока приведет к появлению наведенного переменного напряжения на рельсовых цепях соседнего участка с тягой постоянного тока, которое может вызвать опасное или мешающее воздействие на работу рельсовых цепей с сигнальным током автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации частотой 50 Гц.

Результаты моделирования

По полученным формулам было проведено численное моделирование влияния СТЭ на работу рельсовых цепей своего и соседнего пути.

На рис. 3 приведена зависимость напряжения на рельсовой линии участка пути с тягой постоянного тока от относительной координаты $x = X/L$ при трех значениях проводимости утечки, равных $Y_1 = Y_2$ (См/км): 5 (1), 1.0 (2), 1.5 (3), а на рис. 4 – зависимость действующего значения тока в рельсовой линии участка пути с тягой постоянного тока от координаты $x = X/L$ – при различных действующих значениях переменного тягового тока в контактном проводе другого пути: (0, 50, 100 и 150 А), а также при различных значениях проводимости утечки «рельс-земля» ($Y_1 = Y_2$ 0.5, 1.0 и 5 См/км).

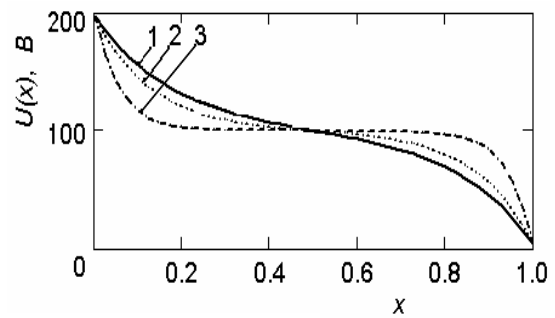


Рис. 3. Зависимость напряжения на рельсовой линии участка пути с тягой постоянного тока от координаты $x = X/L$ для трех значений проводимости утечки: $Y_1 = Y_2$ (См/км): 5 (1), (2), 1.5 (3).

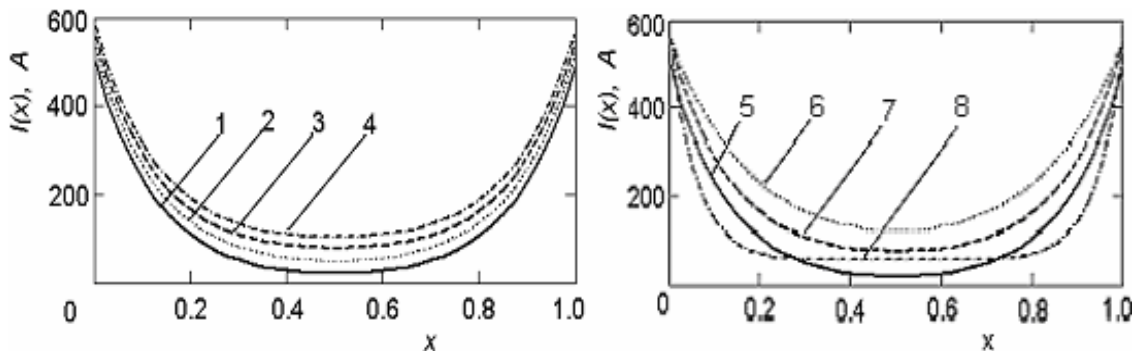


Рис. 4. Зависимость действующего значения тока в рельсовой линии участка пути с тягой постоянного тока от координаты $x = X/L$:

(а) – для различных действующих значений переменного тягового тока в контактном проводе соседнего пути: 0 (1), 50 А (2), 100 А (3), 150 А (4); (б) – для различных проводимостей $Y_1 = Y_2$ (См/км) 5 (5, 6), 1.0 (7), 0.5 (8) при переменном тяговом токе в контактном проводе соседнего пути, равном 0 (5), 100 А (6–8)

Как видно из рис. 4 в рельсовой цепи пути с электротягой постоянного тока, помимо постоянного обратного тока присутствует наведенный переменный ток частотой 50 Гц, причем значения этого тока в двух рельсовых линиях различны, поскольку расстояние рельсовых линий до контактного провода соседнего пути с тягой переменного тока – различно.

Этот ток совпадает по частоте с сигнальным током автоблокировки и током автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) в рельсовых цепях переменного тока частотой 50 Гц или с током АЛС тональных рельсовых цепей и имеет значение, сопоставимое со значениями этих токов.

Наведенный ток может привести к мешающему или опасному влиянию на работу этих рельсовых цепей.

В свою очередь, токи утечки с рельсовой линии с электротягой постоянного тока могут вызвать подмагничивание трансформаторов в рельсовых цепях с электротягой постоянного тока, что также приведет к их нестабильной работе.

Выводы

Проведенный анализ влияния системы тягового электроснабжения двухпутного участка с различающимися видами электрической тяги на двух соседних путях, выполненный на основе разработанной авторами математической модели, показал, что переменный ток, наводимый в рельсовых цепях пути с электротягой постоянного тока от СТЭ соседнего пути с электротягой переменного тока, имеет значения, сопоставимые по величине со значениями сигнального тока автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации для рельсовых цепей переменного тока частотой 50 Гц или тока АЛС для рельсовых цепей тональной частоты, что может привести к опасному или мешающему влиянию на работу этих рельсовых цепей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирпа Г. Н. Стратегия взаимодействия // Залізничний транспорт України. 2003. – № 6. – С. 2–7.

2. Справочник по электроснабжению железных дорог. / Под ред. К. Г. Марквардта. Т. 1. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.
3. Брылеев А. М. Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М.: Транспорт, – 1970. – 256 с.
4. Аркатов В. А. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. А. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
5. Костроминов А. М. Об электромагнитной совместимости рельсовых цепей с перспективным электроподвижным составом // Автоматика, телемеханика и связь. – 1989. – № 6. – С. 33–34.
6. Костроминов А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех. – М.: Транспорт, 1997. – 192 с.
7. Нейман Л. Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1949.

Поступила в редколлегию 20.10.04.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЯКОРЯ РЕЛЕ ПО МАГНИТНОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ РАБОЧЕГО ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА

Запропоновано метод визначення положення якоря реле по магнітному опору робочого повітряного зазору. Метод ґрунтується на тому, що значення магнітного опору робочого зазору практично не залежить від струму в обмотці реле і визначається в основному значенням самого зазору. Даний метод дозволяє вирішити комплексну задачу автоматизації вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до експлуатаційно-технічних вимог до реле першого класу надійності.

Предложен метод определения положения якоря реле по магнитному сопротивлению рабочего воздушного зазора. Метод основан на том, что значение магнитного сопротивления рабочего зазора практически не зависит от тока в обмотке реле и определяется в основном величиной самого зазора. Данный метод позволяет решить комплексную задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности.

A method of defining the position of relay anchor according to the magnetic resistance of a working air backlash is offered in the article. This method is based on the fact that the value of magnetic resistance of a working backlash does not virtually depend on the current in the relay winding and is basically determined by the size of the backlash itself. The method allows deciding the complex task of automation of measuring the mechanical parameters of electromagnetic relays in railway automatic systems without removal of casing, in accordance with the operational and technical requirements to the first-class reliability relays.

Введение и постановка задачи

В настоящее время в Украине основные системы железнодорожной автоматики выполнены на базе реле первого класса надежности, с помощью которых обеспечивается безопасность движения поездов. Для обеспечения надежной и безотказной работы реле первого класса надежности проходят трудоемкий процесс регулировки и проверки на заводе-изготовителе. В процессе эксплуатации реле железнодорожной автоматики также подвергаются периодической проверке и регулировке по всему комплексу параметров, так как в процессе длительной эксплуатации параметры реле изменяются.

В соответствии с «Инструкцией по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)» все основные работы по ремонту, регулировке и проверке параметров реле сосредоточены на ремонтно-технологических участках (РТУ) СЦБ [1]. При проверке в РТУ реле железнодорожной автоматики измерению подлежат электрические, временные и механические параметры. Наиболее трудоемким процессом является измерение механических параметров реле: высоты антиманитного штифта, межконтактного зазора в крайних положениях якоря и при пере-

лете контактов, совместного хода контактов, контактного давления, неодновременности замыкания контактов.

В настоящее время измерение механических параметров реле в РТУ осуществляется различного рода приспособлениями, шаблонами, графмометрами, щупами и т. п. Существующая технология проверки механических параметров реле железнодорожной автоматики отличается низкой точностью и высокой субъективностью, из-за большого количества ручных операций. Часть механических параметров, таких как неодновременность замыкания контактов и совместный ход контактов, вообще не измеряются, поскольку в РТУ отсутствуют для этого измерительные средства. Для контроля данных параметров используется очень субъективный способ визуальной оценки, который не измеряет реальное значение параметра, а только фиксирует, соответствует норме или нет измеряемое значение.

Анализ существующей технологии измерения механических параметров реле железнодорожной автоматики показывает, что она морально и технически устарела, а также требует значительных затрат времени. Статистические исследования, проведенные на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» ДИИТа, показа-

ли, что до 10 % реле железнодорожной автоматики выпускаются в эксплуатацию с параметрами, которые не соответствуют нормативным значениям [2]. Таким образом, существующая технология проверки механических параметров реле в РТУ не может обеспечить качественное обслуживание устройств железнодорожной автоматики, в современных условиях при увеличении скорости движения поездов. Для устранения данных недостатков необходимо автоматизировать процесс измерения параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики с использованием современной элементной базы.

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

Целью работы является разработка метода определения положения якоря реле по магнитному сопротивлению рабочего воздушного зазора для автоматизации измерения механических параметров реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ. Метод используется в автоматизированном измерительном комплексе для контроля параметров

реле железнодорожной автоматики, который был разработан на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» ДИИТа.

Описание метода

Метод определения положения якоря по значению магнитного сопротивления воздушного зазора между якорем и сердечником реле основан на том, что значение магнитного сопротивления рабочего зазора практически не зависит от тока в обмотке реле и определяется в основном величиной самого зазора.

Исходными данными для расчета магнитной цепи реле являются:

- зависимость тока в обмотке от времени $i(t)$ при включении реле;
- схема замещения магнитной цепи реле (определяется конструкцией магнитопровода реле);
- форма кривой намагничивания материала магнитопровода (в аналитическом виде);
- значение проводимостей путей магнитного потока по воздуху.

Ток в обмотке реле i и потокосцепление Ψ связаны между собой уравнением электрической цепи обмотки реле:

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

где R – активное сопротивление обмотки; Ψ – потокосцепление обмотки реле; i – ток в обмотке реле; u – напряжение источника питания.

Если напряжение источника питания $u(t) = \text{const}$, то потокосцепление равно:

$$\Psi(t) = U(t - t_0) - R \int_{t_0}^t i(t) dt. \quad (2)$$

Из-за наличия потоков рассеяния, величина магнитного потока в сердечнике реле изменяется по длине магнитопровода. Магнитное сопротивление стыка сердечник-ядро в нормальнодействующих реле типа НМШ или РЭЛ можно принять равным нулю, и следовательно, максимальный магнитный поток Φ_0 будет в основании сердечника. Обмотка в нормальнодействующих реле НМШ и РЭЛ распределена равномерно по всей длине сердечника, поэтому потокосцепление на участке сердечника dx будет равно [5]:

$$d\Psi = \Phi_x \frac{w}{l_c} dx, \quad (3)$$

где w – количество витков в обмотке реле; l_c – длина сердечника; Φ_x – магнитный поток в сечении x магнитопровода. Тогда полное число потокоцеплений реле будет равно:

$$\Psi = \frac{w}{l_c} \int_0^{l_c} \Phi(x) dx. \quad (4)$$

Подставим в уравнение (4) вместо $\Phi(x)$ его аналитическое выражение [5]:

$$\Phi(x) = \frac{IW}{l_c R_{ж}} - \left(\frac{IW}{l_c R_{ж}} - \Phi_0 \right) \times \sqrt{\frac{g}{R_{ж}}} ch \cdot x \sqrt{g \cdot R_{ж}}. \quad (5)$$

На основании уравнений (4) и (5) получим значение магнитного потока в основании сердечника:

$$\Phi_0 = \frac{l_c}{\sqrt{g R_{ж}} sh \cdot l_c} \left(\frac{\Psi}{w} - \frac{IW}{l_c R_{ж}} \right) + \frac{IW}{l_c R_{ж}}, \quad (6)$$

где $R_{ж}$ – сумма магнитных сопротивлений единицы длины (1 м) магнитопровода (сердечника и ярма); g – магнитная проводимость потока рассеяния между сердечником и корпусом на единицу длины (1 м) магнитной цепи.

В реле НМШ и РЭЛ поток утечки замыкается между сердечником цилиндрической формы и параллельно расположенным плоским основанием реле. Удельная проводимость утечки на единицу длины магнитопровода для реле НМШ будет равна [5]:

$$g = \mu_0 \frac{2 \pi}{\ln \frac{h + \sqrt{h^2 + r^2}}{r}}, \quad (7)$$

где h – расстояние между основанием реле и осью сердечника; r – радиус сердечника реле.

Для реле РЭЛ при определении удельной магнитной проводимости утечки необходимо учитывать, что кроме потока утечки между сердечником и ярмом существует еще и поток утечки между сердечниками. С учетом того, что магнитные потоки в сердечниках реле РЭЛ направлены в противоположные стороны удельная проводимость для магнитного потока рассеяния будет равна:

$$g = \mu_0 \left(\frac{2\pi}{\ln \frac{h_1 + \sqrt{h_1^2 + r^2}}{r}} - \frac{\pi}{\ln \frac{h_2 + \sqrt{h_2^2 + 4r^2}}{2r}} \right), \quad (8)$$

где h – расстояние между сердечниками реле; r – радиус сердечников реле.

Магнитное сопротивление стали $R_{ж}$ определяется для среднего магнитного потока в сердечнике по формуле

$$R_{ж} = \frac{w(H_c + H_{яр})}{\Psi}, \quad (9)$$

где H_c – напряженность магнитного поля в сердечнике; $H_{яр}$ – напряженность магнитного поля в ярме реле. Экспериментальные исследования показали, что изменение магнитного сопротивления магнитопровода вдоль сердечника дает незначительную погрешность, поэтому вычисление $R_{ж}$ по среднему магнитному потоку в сердечнике реле дает погрешность не более 2,8...3,2 %.

Для того чтобы определить магнитный поток в любой точке магнитопровода, необходимо решить общее уравнение магнитной цепи, которое определяет закон изменения магнитного потока по длине магнитопровода [5]

$$\frac{d^2 \Phi_x}{dx^2} - \Phi_x R_{ж} g + \theta g = 0, \quad (10)$$

где θ – удельная намагничивающая сила, создаваемая обмоткой реле.

Рабочий магнитный поток в воздушном зазоре между ярком и сердечником Φ_6 можно определить по формуле, которая является аналитическим решением общего уравнения магнитной цепи реле (10):

$$\Phi(\delta) = \frac{IW}{l_c R_{ж}} - \left(\frac{IW}{l_c R_{ж}} - \Phi_0 \right) \times \sqrt{\frac{g}{R_{ж}}} chl_c \sqrt{g R_{ж}}. \quad (11)$$

Недостатком выражения (11) является то, что в нем магнитное сопротивление стали $R_{ж}$ принимается постоянным на всей длине магнитопровода. Но магнитное сопротивление $R_{ж}$ зависит от магнитного потока и, следовательно, также изменяется по длине сердечника. Поэтому для увеличения точности вычисления рабочего магнитного потока, магнитная цепь реле разбивается на участки $dx = 0,01$ мм, и для каждого из них вычисляется магнитное сопротивление $R_{ж}$ в зависимости от значения магнитного потока $\Phi(x)$ на этом участке.

Для реле РЭЛ при определении $R_{ж}$ необходимо учитывать, что магнитный поток проходит по обоим сердечникам.

Общее уравнение магнитной цепи реле (10) является уравнением второго порядка и для решения его численными методами данное уравнение можно представить в виде системы двух дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dU_{\text{мх}}}{dx} &= -(\theta - \Phi_{\text{х}} R_{\text{ж}}), \\ \frac{d\Phi}{dx} &= U_{\text{мх}} g. \end{aligned} \quad (12)$$

Существует обширное семейство численных методов решения дифференциальных уравнений, получивших название методы Рунге-Кутты: метод Эйлера (простой одношаговый метод), метод Хьюна и т. п. Численные методы Рунге-Кутты основаны на замене производных их конечно-разностными отношениями, что позволяет избавиться от такого неудобного для вычислительных систем объекта, как производная, заменив систему дифференциальных уравнений на систему алгебраических уравнений.

Для решения системы дифференциальных уравнений (12) используется двухшаговый метод Хьюна:

$$\begin{aligned} S_1 &= F(x_0, y_0), \quad z = x_0 + S_1 dx, \\ S_2 &= F(x_1, z), \quad y_1 = y_0 + \frac{S_1 + S_2}{2} dx. \end{aligned}$$

Для построения первого приближения S_1 в точке x_1 используется метод Эйлера. Затем в этой точке определяется тангенс угла наклона касательной к графику функции S_2 . Для получения окончательного результата $y_1(x_1)$ производится усреднение тангенсов угла наклона в обеих точках.

Начальными условиями для расчета магнитной цепи реле, при заданной намагничивающей силе θ , являются: $x = 0$; $\Phi(0) = \Phi_0$ (максимальное значение магнитного потока в основании сердечника); $U_{\text{м}}(0) = 0$. Сердечник разбивается по длине на участки $dx = 0,01$ мм (при $l_c = 90$ мм для реле НМШ и $l_c = 80$ мм для реле РЭЛ). Дальнейшее увеличение количества участ-

ков не приводит к повышению точности расчета, а только увеличивает длительность расчетов.

Определив магнитный поток в основании сердечника Φ_0 , рабочий магнитный поток в воздушном зазоре между якорем и сердечником Φ_{δ} и магнитный поток рассеяния Φ_g , можно рассчитать по эквивалентной схеме замещения магнитной цепи реле, представленной на рис. 1, значения магнитных сопротивлений элементов магнитопровода реле: $R_{\text{ст}}$ – магнитное сопротивление сердечника и ярма реле; $R_{\text{я}}$ – магнитное сопротивление якоря и основания ярма; $R_{\text{в}}$ – магнитное сопротивление воздушных зазоров магнитной цепи реле; R_g – приведенное магнитное сопротивление путей утечки магнитного потока; R_{δ} – магнитное сопротивление рабочего воздушного зазора, зависящее от положения якоря.

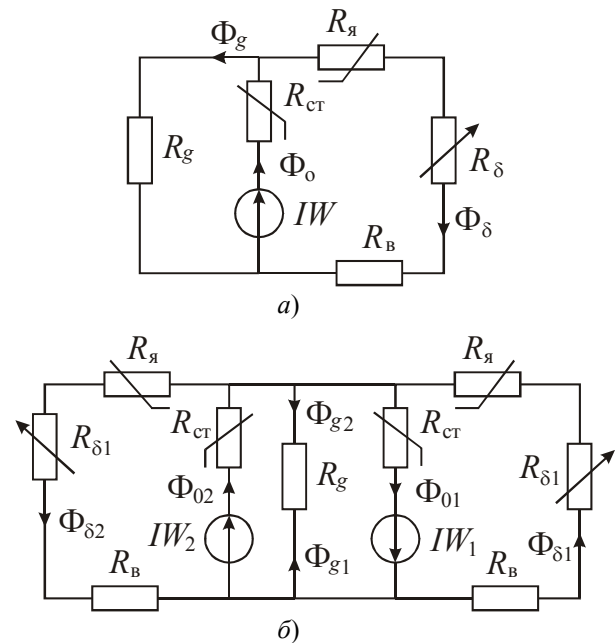


Рис. 1. Схема замещения магнитной цепи реле: а) – реле НМШ; б) – реле РЭЛ

В соответствии со схемой замещения магнитной цепи реле магнитное сопротивление рабочего воздушного зазора будет равно:

$$R_{\delta}(t) = \frac{\left(\frac{i(t)w}{\Phi_{\delta}} - R_{\text{СТ}} \right) R_g}{R_g + R_{\text{СТ}}} - R_{\text{я}}. \quad (13)$$

Воздушный зазор между сердечником и якорем у реле НМШ и РЭЛ (рис. 2) представляет собой зазор между торцом цилиндрического полюса и наклоненным под углом плоским якорем. Проводимость воздушного зазора дан-

ного типа можно выразить как произведение проводимости равномерного зазора и поправочного коэффициента k [6]:

$$G = \mu_0 \frac{\pi d^2}{4\delta} k, \quad (14)$$

где

$$k = 2\rho_1 \left(\rho_1 - \sqrt{\rho_1^2 - 1} \right),$$

$$\rho_1 = \frac{2 R_0}{d \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right)}.$$

На основании выражения (14) расстояние между полюсом сердечника и якорем по оси сердечника в момент времени t будет равно:

$$\delta(t) = k \frac{\mu_0 R_\delta(t) d^2}{4}. \quad (15)$$

На рис. 3. приведены экспериментальные зависимости значения магнитного сопротивления рабочего воздушного зазора R_δ от по-

ложения якоря δ и расчетные, полученные по данному методу. Сравнительный анализ полученных данных показал, что расхождение экспериментальных и расчетных значений для различных типов реле не превышает 5...8 %.

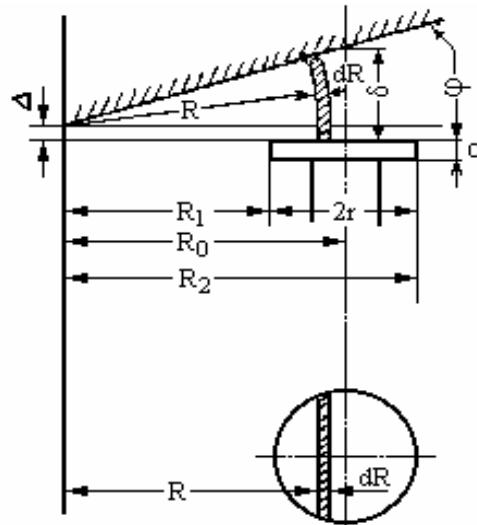


Рис. 2. Воздушный зазор между якорем и сердечником для реле НМШ и РЭЛ

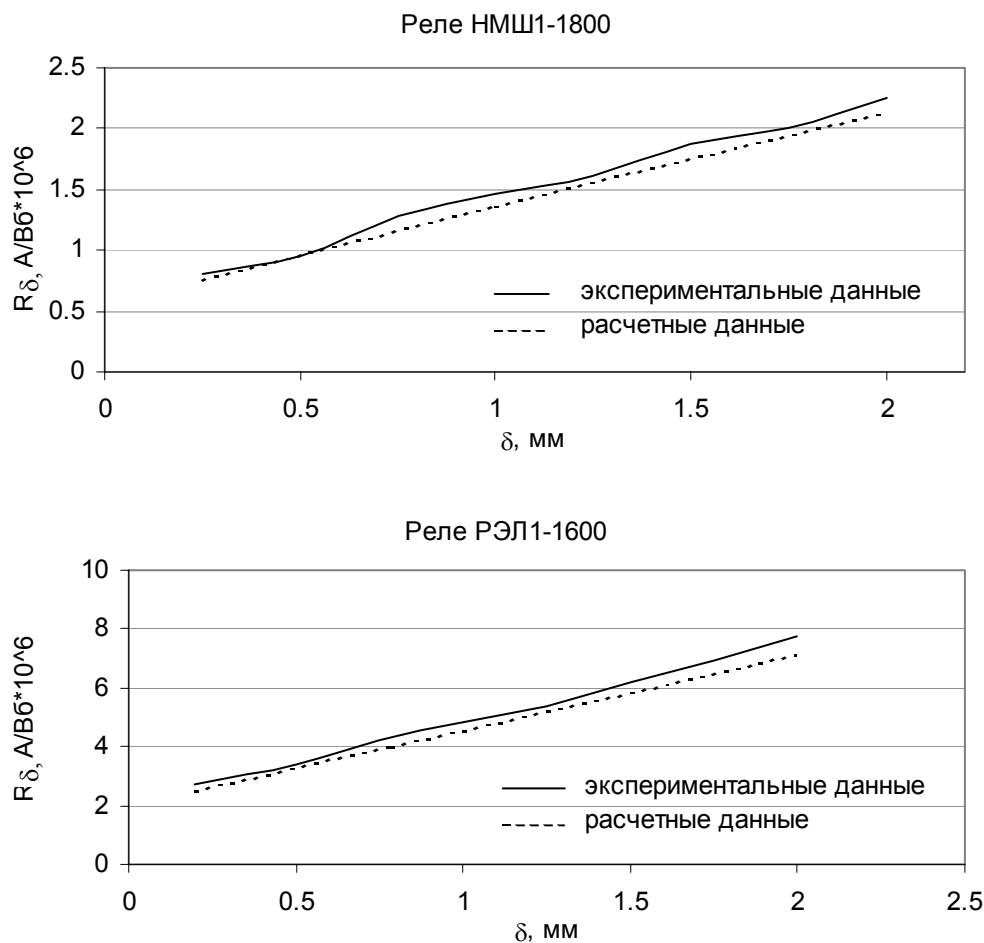


Рис. 3. Зависимость значения магнитного сопротивление воздушного зазора от положения якоря в реле НМШ и РЭЛ

Напряжение, пропорциональное зависимости $i(t)$, снимается с прецизионного резистора R_0 , который включен последовательно с обмоткой реле. Затем зависимость $i(t)$ вводится в персональный компьютер (ПК) типа IBM PC для дальнейшей математической обработки по приведенному выше методу. Одновременно с зависимостью $i(t)$, с помощью логического анализатора на 16 входов, в ПК вводится информация о состоянии всех фронтальных и тыловых контактов реле.

Таким образом, данный метод позволяет по форме тока в обмотке во время включения реле определить положения якоря в любой момент времени, путем расчета параметров магнитной цепи реле, т. е. получить зависимость $\delta = f(t)$, где δ – расстояние между полюсом сердечника и якорем по оси сердечника.

Из зависимости $\delta(t)$ можно определить моменты начала движения и остановки якоря, а при сопоставлении с моментами размыкания и замыкания контактов можно вычислить такие механические параметры реле, как физический зазор между якорем и сердечником, совместный ход контактов, межконтактный зазор в момент перелета контактов и в крайних положениях якоря, высоту антимангнитного штифта, неодновременность замыкания контактов.

Кроме того, зависимость $\delta(t)$ может использоваться в качестве исходных данных для определения контактного давления и электромагнитной силы притяжения якоря реле.

Выводы

Предлагаемый метод определения положения якоря по значению магнитного сопротивления воздушного зазора между якорем и сердечником реле позволяет решить задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого

класса надежности. Данный метод реализован программно и используется совместно с автоматизированным измерительным комплексом для проверки параметров реле железнодорожной автоматики. Оценка погрешности вычисления механических параметров реле позволяет использовать метод на практике вместо существующей технологии проверки реле.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – К., 1998. – 72 с.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2: Отчет по НИР / ДИИТ. – № 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Разгонов А. П. Полуавтоматический стенд для контроля и измерения параметров реле // Межвузовский сборник научных трудов. Днепропетр. ин. инж. трансп. – Д.: Транспорт. 1985. – С. 11–20.
4. Устройство для снятия динамической электромагнитной характеристики электромагнитных элементов постоянного тока при срабатывании: А.С. 789970 СССР, МКИ G05 B23/02/ Р. А. Агаронянц. – № 2671891/24-07; Заявлено 03.10.78; Опубл. 23.12.80, Бюл. № 47. – 4 с.
5. Витенберг М. В. Расчет электромагнитных реле. – М.: Энергия, 1975. – 416 с.
6. Гордон А. В. Электромагниты постоянного тока / А. В. Гордон, А. Г. Сливинская. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 447 с.

Поступила в редколлегию 11.12.04.

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ РАЗЛИВАХ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Розроблена методика розрахунку процесу вилучення забрудненого повітря з зони аварійного розливу токсичної речовини за допомогою вентиляторів. Методика розрахунку базується на численному інтегруванні тримірного рівняння переносу домішки. Наведені результати обчислювального експеримента.

Разработана методика расчета процесса удаления загрязненного воздуха из зоны аварийного разлива токсичного вещества – груза с помощью вентиляторов. Методика расчета основывается на численном интегрировании трехмерного уравнения переноса примеси. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A method to calculate the process of contaminated air evacuation from the zone of toxic substance spillage with ventilators has been developed. The method is based on the numerical integration of 3D equation of pollutant transfer. Results of the calculative experiment have been provided.

Аварийные разливы жидкостей, пары которых являются токсичными, способны вызвать интенсивное загрязнение окружающей среды, и в первую очередь – атмосферы. Анализ научных публикаций, посвященных проблеме защиты атмосферы от загрязнения после аварийных разливов, показывает, что в настоящее время активно идет процесс совершенствования методов ликвидации аварий, с целью уменьшения загрязнения атмосферы. [1; 2; 4; 6] Одним из методов, направленных на снижение уровня загрязнения атмосферы парами токсичного вещества (аммиак, хлор и т. д.), является метод забора загрязненного воздуха над зоной разлива с помощью вентилятора и последующая его подача на нейтрализующую установку. Описание данного метода приведено в работе [4]. Целью настоящей работы является разработки математической модели и методики расчета по применению данного метода. Построение и практическое применение такой методики для оптимизации процесса забора загрязненного воздуха не рассматривалось ранее в научной литературе. Методика позволяет на основе метода вычислительного эксперимента и в режиме реального времени решать следующие актуальные задачи:

1. Прогнозировать динамику загрязнения атмосферы после аварийного разлива токсичного вещества.
2. Оценивать эффективность работы вытяжной системы по снижению концентрации паров токсичного вещества возле зоны разлива в зависимости от расположения воздухозаборников вентиляторов относительно зоны разлива и с учетом метеословий.

3. Определять концентрацию паров токсичного вещества в удаляемом из зоны разлива воздухе и подаваемом на нейтрализующую установку.

Перечисленные задачи, в целом, дают возможность оптимизировать процесс защиты атмосферы после разлива токсичных веществ путем удаления загрязненного воздуха из зоны разлива.

1. Математическая модель миграции загрязнения в атмосфере

Для описания миграции паров загрязняющего вещества (ЗВ) от зоны разлива будем использовать трехмерное уравнение переноса примеси

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \omega \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \\ + \sum q_i(t) \delta(r - r_i) - \sum Q_j(t) \varphi \delta(r - r_j), \quad (1) \end{aligned}$$

где φ – концентрация загрязняющего вещества в единице объема воздуха; u, v, ω – компоненты вектора скорости воздушной среды; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициенты турбулентной диффузии; t – время; σ – коэффициент, учитывающий химический расход загрязняющего вещества, вымывание его осадками; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника загрязнения; q_i – мощность выброса загрязняющего вещества в атмосферу от зоны разлива; $\delta(r - r_i), \delta(r - r_j)$ – дельта функция Дирака.

Моделирование работы вентиляторов, воздушных, удаляющих пары, осуществляется заданием их интенсивности – Q_j и расчетом поля скорости на базе модели потенциального трехмерного течения от точечного стока:

$$u = \sum -\frac{Q_j}{4\pi} \left[\frac{(x-x_j)}{r^3} + \frac{(x-x_j)}{\bar{r}^3} \right];$$

$$v = \sum -\frac{Q_j}{4\pi} \left[\frac{(y-y_j)}{r^3} + \frac{(y-y_j)}{\bar{r}^3} \right];$$

$$w = \sum -\frac{Q_j}{4\pi} \left[\frac{(z-z_j)}{r^3} + \frac{(z+z_j)}{\bar{r}^3} \right],$$

где

$$r = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z-z_j)^2},$$

$$\bar{r} = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z+z_j)^2}.$$

В данных расчетных зависимостях используются фиктивные точечные стоки, расположенные симметрично плоскости $z=0$ (поверхность земли), что обеспечивает выполнение условия непроницаемости на данной поверхности.

Уравнение (1) дополняется следующими граничными условиями: на поверхности земли $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ (n – вектор внешней нормали к поверхности); на боковых гранях расчетной области ставятся условия: $\varphi = 0$ при $(\vec{V} \cdot \vec{n}) \geq 0$; $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$; при $(\vec{V} \cdot \vec{n}) \leq 0$.

Начальное условие имеет вид $\varphi = 0$.

2. Модель испарения токсичного вещества

Для расчета количества токсичного вещества, испаряющегося от зеркала – поверхности аварийного разлива используется формула

$$q = (5,38 + V4,1) P_n \sqrt{\mu_v},$$

где V – скорость воздушного потока; P_n – давление насыщенных паров; μ_v – молекулярная масса загрязняющего вещества.

Наряду с данной эмпирической моделью в разработанном пакете программ используется

также другая модель, основанная на решении задачи конвективного массообмена [5]

$$q = h_m A (\varphi_s - \varphi_0),$$

где h_m – коэффициент конвективного массообмена

$$h_m = \frac{S_h \mu}{L}.$$

Здесь S_h – число Шервуда; L – характерный линейный размер; A – площадь зеркала испарения; φ_s – концентрация загрязняющего вещества возле зеркала разлива; φ – концентрация загрязняющего вещества в окружающей среде.

Заметим, что если испарение идет из грунта, т. е. от просочившейся в грунт жидкости, пользоваться приведенными зависимостями – нельзя, а величина параметра « q » должна задаваться исходя из имеющихся опытных данных, результатов обработки предшествующей информации об аналогичных аварийных ситуациях. В качестве некоторого «нулевого» приближения, при отсутствии какой-либо возможной информации, можно воспользоваться в данной ситуации моделью [3]:

$$q = 43,8 \frac{V_B \mu_B}{T},$$

где

$$V_B = \frac{\mu * S}{H} \ln \frac{B - P_1}{B - P_n},$$

где S – площадь испарения; H – расстояние от зеркала до поверхности земли; B – атмосферное давление; P_1 – давление пара вещества в атмосфере; T – температура.

3. Метод решения

Численное интегрирование уравнения переноса паров загрязняющего вещества от зоны разлива осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [7]. На каждом дробном шаге расчет неизвестного значения концентрации загрязняющего вещества выполняется по схеме бегущего счета. Разностная схема является абсолютно устойчивой.

4. Алгоритм решения

На основе численного решения рассмотренной выше трехмерной модели переноса загрязняющих веществ в атмосфере и модели точечного стока создан пакет программ «Воздух-3»,

реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN. Процесс расчета осуществляется в следующем порядке:

1. Задаются размеры расчетной области, где проводится исследование по удалению ЗВ из зоны разлива с помощью вентилятора.

2. Задается форма, размеры зоны разлива, метеорологическая информация, информация о физических параметрах разлитой жидкости (молекулярный вес и т. д.). Отметим, что в дискретной модели имеется возможность задавать любую геометрическую форму зоны разлива (в плане).

3. Задается интенсивность вытяжных устройств, время их работы и положение относительно зоны разлива.

4. Осуществляется расчет уравнения переноса ЗВ в атмосфере от зоны разлива и процесса удаления ЗВ вытяжной установкой.

В результате выполнения расчета с помощью пакета программ «Воздух-3» пользователь получает следующую информацию:

- поле концентраций ЗВ в расчетной области;
- информацию об уровне загрязненности воздуха, поступающего в вытяжное устройство вентилятора и идущего на нейтрализацию;
- информацию о количестве ЗВ, испарившегося от зоны разлива;
- количество ЗВ, удаленного вытяжными устройствами за время их работы.

5. Пример расчета

Ниже приводятся результаты вычислительного эксперимента, выполненного на базе пакета программ «Воздух-3» по моделированию удаления ЗВ от зоны разлива аммиака с помощью вытяжных устройств.

Вычислительный эксперимент проведен при следующих параметрах: $R_x = 22$ м; $R_y = 24$ м; $R_z = 20$ м – размеры расчетной области; $L_x = 2,64$ м; $L_y = 3,42$ м – размеры зоны разлива (рис. 1, 2); D – класс устойчивости атмосферы (по шкале Пасквила); азимут – 45° . При проведении эксперимента варьировалась высота «z» размещение воздухозаборника над зоной разлива, интенсивность вытяжных устройств, скорость ветра.

Перейдем к рассмотрению результатов моделирования. На рис. 3 и 4 показано как изменяется интенсивность и форма зоны загрязнения атмосферы при различной скорости ветра.

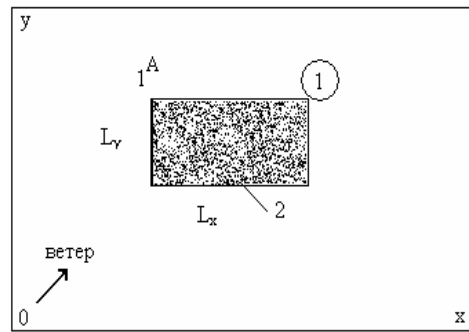


Рис. 1. Схема размещения вытяжной установки (1) и зоны разлива (2)

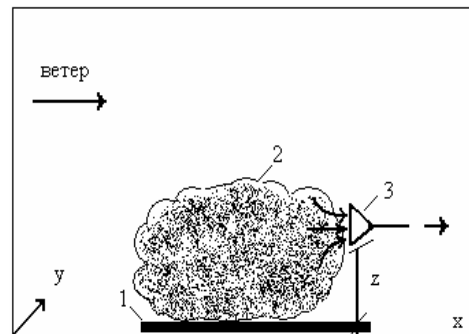


Рис. 2. Схема удаления ЗВ из зоны разлива: 1 – зона разлива; 2 – облако паров ЗВ; 3 – воздухозаборник вентиляторной установки

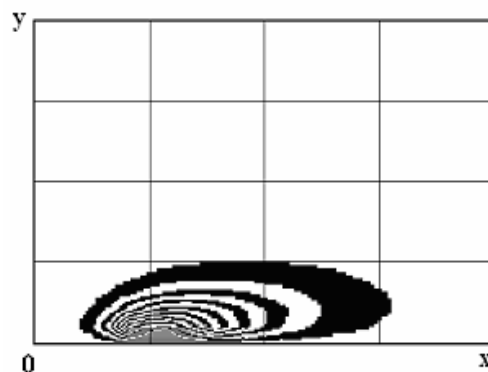


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы ($y = 12$ м) при скорости ветра $V = 10$ м/с

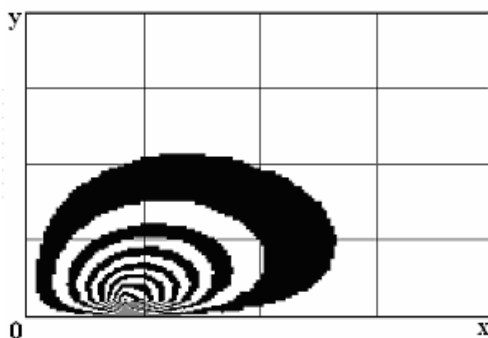


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы ($y = 12$ м) при скорости ветра $V = 0,5$ м/с

Видно, что увеличение скорости ветра (см. рис. 3) приводит к тому, что зона загрязнения больше «прижимается» к поверхности земли, чем при малой скорости ветра (см. рис. 4 $V = 0,5$ м/с).

В табл. 1–3 представлены данные по расчету эффективности работы установки по удалению ЗВ из зоны разлива при расположении воздухозаборника вблизи зоны разлива (см. рис. 2) и при различной его производительности (рассматривались осевые вентиляторы ЦАГИ серии МЦ). Высота установки воздухозаборника – 1 м над зоной разлива, скорость ветра – 2 м/с.

Таблица 1

**Эффективность работы установки
при подаче вентилятора $Q = 36$ м³/с, $z = 1$ м**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,3800	0,4800	0,8600
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,0004	0,0004	0,0004
Масса удаленного ЗВ, кг	0,0260	0,0390	0,0470

Таблица 2

**Эффективность работы установки
при подаче вентилятора $Q = 18$ м³/с, $z = 1$ м**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,3800	0,4800	0,8600
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,0004	0,0004	0,0004
Масса удаленного ЗВ, кг	0,0149	0,0227	0,0283

Таблица 3

**Эффективность работы установки
при подаче вентилятора $Q = 5$ м³/с, $z = 1$ м**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,38	0,48	0,8600
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,0004	0,0004	0,0004
Масса удаленного ЗВ, кг	0,0045	0,0071	0,0088

Анализ данных моделирования, представленных в табл. 1...8 позволяет сделать вывод о том, что на эффективность работы установки по удалению загрязненного воздуха оказывает влияние высота установки воздухозаборника и его положение относительно зоны разлива. Так, при подаче вентилятора $Q = 5$ м³/с (вентилятор типа МЦ № 8) увеличение высоты установки воздухозаборника из положения $z = 1$ м до положения $z = 2$ м, привело к уменьшению массы удаленного ЗВ, примерно на 40 %. В целом количество удаляемого ЗВ через воздухозаборник значительно меньше испарившейся массы ЗВ. В табл. 7, 8 приведены данные по оценке эффективности работы вытяжной установки при различной скорости ветра (расчет выполнен для другого положения воздухозаборника – позиция 1^А на рис. 1). Как следует из расчетных данных увеличение скорости ветра приводит к росту концентрации ЗВ в воздухе, попадающем в воздухозаборник, и увеличению массы удаляемого ЗВ. Это объясняется ростом массы испаряющегося ЗВ от зеркала зоны разлива.

В табл. 4...6 представлены данные об эффективности работы установки при другой высоте размещения воздухозаборника – $z = 2$ м.

Таблица 4

**Эффективность работы установки
при подаче вентилятора $Q = 36$ м³/с, $z = 2$ м**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,3800	0,4800	0,8600
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,0003	0,0003	0,0003
Масса удаленного ЗВ, кг	0,0219	0,0328	0,0411

Таблица 5

**Эффективность работы установки
при подаче вентилятора $Q = 18$ м³/с, $z = 2$ м**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,3800	0,4800	0,8600
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,0003	0,0003	0,0003
Масса удаленного ЗВ, кг	0,0109	0,0167	0,0205

Таблица 6

**Эффективность работы установки
при подаче вентилятора $Q = 5 \text{ м}^3/\text{с}$, $z = 2 \text{ м}$**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,38000	0,48000	0,86000
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,00030	0,00030	0,00030
Масса удаленного ЗВ, кг	0,00280	0,00448	0,00556

Таблица 7

**Эффективность работы установки при подаче
вентилятора $Q = 5 \text{ м}^3/\text{с}$, $V = 0,5 \text{ м/с}$ $z = 1 \text{ м}$
(новое положение воздухозаборника)**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	0,21100	0,26300	0,47400
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,00160	0,00016	0,00016
Масса удаленного ЗВ, кг	0,00140	0,00220	0,00270

Таблица 8

**Эффективность работы установки при подаче
вентилятора $Q = 5 \text{ м}^3/\text{с}$, $V = 10 \text{ м/с}$ $z = 1 \text{ м}$
(новое положение воздухозаборника)**

Время, с	3,6	4,5	8,1
Масса испарившегося ЗВ, кг	1,31500	1,64400	2,95900
Концентрация ЗВ в удаляемом воздухе, кг/м ³	0,00043	0,00043	0,00043
Масса удаленного ЗВ, кг	0,00360	0,00570	0,00710

Выводы

Разработанная компьютерная модель и созданная на ее базе методика позволяют выполнять расчет в режиме реального времени (решение одного варианта задачи составляет 2 с на ПК типа PENTIUM-II) процесса удаления ЗВ из зоны разлива при использовании вентиляторов, отсасывающих загрязненный воздух.

На основе результатов проведенного вычислительного эксперимента, с использованием построенной модели, можно сформулировать следующие рекомендации:

1. Эффективность работы установки по забору загрязненного воздуха из зоны разлива зависит от высоты установки воздухозаборника над поверхностью разлива и «степени» приближения ее к зоне разлива. Поэтому при разработке установок, предназначенных для решения данной задачи, следует предусмотреть конструктивные решения, позволяющие размещать воздухозаборник как можно ниже к зоне разлива, а также предусмотреть возможность выдвижения воздухозаборника «вглубь», зоны разлива, для обеспечения «равномерности» всасывания.

2. Поскольку скорость всасывания при «работе» пространственного точечного стока (моделирующего работу воздухозаборника) обратно пропорциональна квадрату расстояние R от стока (воздухозаборника) $V = \frac{Q}{4\pi R^2}$, а значит –

резко падает при удалении от воздухозаборника, то использование вентиляторов, воздуходувок с расходом $Q < 30 \text{ м}^3/\text{с}$ – нецелесообразно в случае больших по площади зон разлива.

3. Ввиду того, что при авариях площадь разлива может быть большой, при комплектации оборудования для ликвидации аварийных разливов следует приобрести несколько вентиляторных установок, которые можно было бы разместить в различных точках зоны разлива.

4. Учитывая, что скорость всасывания резко падает при удалении от отверстия воздухозаборника при ограниченной интенсивности вентилятора Q , данный метод защиты атмосферы от загрязнения следует рекомендовать при небольшой по величине площади разлива. Разработанная методика позволяет определить для имеющихся в наличии вентиляторов величину наиболее эффективно обработанной зоны разлива. То есть для вентиляторных установок, уже находящихся в эксплуатации, имеется возможность рассчитать по разработанной методике, их возможности по защите атмосферы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 5 т. / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаяева. – М.: Из-во АСВ, 2001. – 164 с.
2. Иванов Ю. А. Хранение и транспортировка жидкого аммиака / Ю. А. Иванов, И. И. Стижевский. – М.: Химия, 1991. – 80 с.
3. Мацак В. Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве / В. Г. Мацак, Л. К. Хоцянов. – М.: Медгиз, 1959. – 231 с.

4. Плахотник В. Н. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения / В. Н. Плахотник, Л. А. Ярышкина, В. И. Сираков и др. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 244 с.
5. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Ф. Крейт, У. Блэйк. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
6. Купаев В. И. Методы локализации очага аварий и ликвидации ее последствий на химически опасных объектах железнодорожного транспорта / В. И. Купаев, С. В. Рассказов // Транспорт. наука, техника, управление № 4, 2003. – С. 28–34.
7. Беляев Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферы и подсыпавшей поверхности при авариях на железнодорожном транспорте / Н. Н. Беляев, О. В. Коптилая. // Методи розв'язування прикладних задач механіки деформованого твердого тіла. Збірник наук. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т. – Д. 2003. – Вип. 5 – С. 3–12.

Поступила в редколлегию 12.10.2004.

І. М. КОРНІЄНКО, М. Д. ВОЛОШИН, О. І. ПОЛЯНЧИКОВ
(Дніпродзержинський державний технічний університет)

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ БІОСОРБЦІЇ ТА БІОАКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГІДРОБІОНТІВ *HERPOBDELLA OCTOCULATA*, *ASELLUS AQUATICUS* ТА АКТИВНОГО МУЛУ, ВИЛУЧЕНИХ З ОЧИСНИХ СПОРУД м. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА

У ході атомно-абсорбційного аналізу встановлено, що водні організми та активний мул, які вилучені з очисних споруд м. Дніпродзержинська, проявляють біосорбційні властивості по відношенню до важких металів, а саме: мідь, марганець, кобальт, кадмій, свинець, цинк та залізо. Порівнюючи властивості двох гідробіонтів та активного мулу накопичувати важкі метали, можна впевнено сказати, що *Herpobdella octoculata* і *Asellus aquaticus* володіють більш високим потенціалом сорбції вказаних токсикантів ніж активний мул. Результати отриманих концентрацій важких металів наведені в роботі у вигляді колоутворюючих діаграм.

В ходе атомно-абсорбционного анализа установлено, что водные организмы и активный ил, которые извлечены из очистных сооружений г. Днепродзержинска, проявляют биосорбционные и биоаккумуляционные свойства по отношению к тяжелым металлам, а именно: медь, марганец, кобальт, кадмий, свинец, цинк и железо. Сравнивая особенности двух гидробионтов и активного ила накапливать тяжелые металлы, можно с уверенностью сказать, что *Herpobdella octoculata* и *Asellus aquaticus* владеют более высоким потенциалом сорбции указанных токсикантов, чем активный ил. Результаты полученных концентраций тяжелых металлов представлены в работе в виде кругообразных диаграм.

In the course of an atom absorption tests it was established that aquatic organisms and active slime that had been obtained from sewage recycling facilities of Dneprodzerzhinsk town displayed bioabsorptive properties in relation to heavy metals, such as copper, manganese, cobalt, cadmium, lead, zinc and iron. While comparing the capacities of accumulating heavy metals, possessed by the aquatic organisms and active slime, the authors established that *Herpobdella octoculata* and *Asellus aquaticus* had higher adsorption potential of mentioned toxic substances than active slime. The test concentrations of heavy metals, established in the paper, have been displayed in the form of pie-charts.

Серед токсикантів різноманітної хімічної природи особливу небезпеку для гідробіонтів та організму людини становлять важкі метали. Головним джерелом їх потрапляння до внутрішніх водойм, а саме до річки Дніпро, є стічні води підприємств хімічної і металургійної промисловості. Стічні води, які надходять до мережі міської каналізації містять мідь, цинк, хром, нікель, залізо, марганець, свинець, кадмій та кобальт. Після механічної та біологічної очистки концентрація металів у стоках знижується, але видалити їх повністю не вдається. Ці неорганічні сполуки потрапляють з недостатньо очищеними стоками до водойм у вигляді різноманітних сполук, які виявляють сумісну або комбіновану мутагенну, канцерогенну дію на флору, фауну водойм та організм людини і тварин. Типи дій: 1) синергізм або потенціонування, коли ефект дії більше простого підсумовування; 2) антагонізм, коли ефект дії декількох токсикантів буває менше ніж сума; 3) адитивне або просте підсумовування. Найчастіше зустрічаються перший тип.

Токсичні метали у водоймах пагубно діють на флору, фауну та гальмують процеси самоочищення водойм. За рахунок акумуляції токсикантів у придонних шарах води, вони на індивідуальному рівні дії призводять до зміни хімічного складу, морфологічних характеристик клітин, осмотичних функцій, виникненню та утворенню патологічних форм, мутацій, порушенню дихання і орієнтації гідробіонтів [1; 2].

Отже, одним із перспективних шляхів вирішення проблеми біоремідації стічних вод, які забруднені важкими металами, є цілеспрямоване і контрольоване використання біосорбентів та біоаккумулянтів. У кожному конкретному випадку ці властивості повинні гарантуватися знанням особливостей взаємодії живих організмів з конкретним металом.

Аналіз ряду опублікованих робіт [3–5] дозволяє зробити висновок, що ці дослідження не в повній мірі охоплюють можливості біоаккумуляції важких металів багатьма гідробіонтами, а саме *Herpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* та активним мулом.

Метою експериментальної роботи є порівняння властивостей біосорбції та біоаккумуляції важких металів гідробіонтами *Herpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* та активного мулу, вилучених з водоочисних споруд м. Дніпродзержинська. Роботу виконували з ПУВКХ у рамках господару № 350/05.

Як об'єкт дослідження використовували гідробіонти *Herpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* та активний мул з аеротенку, який призначений для біологічного очищення стічних вод.

Встановлено, що *Herpobdella octoculata* – типова форма глоткової п'явки, найбільш розвинена представниця червів. Її тіло розподілене на сегменти, розміром 1,5...2 см. Має центральну нервову, м'язову системи, які добре розвинуті, органи почуттів та розмноження, зоровий апарат. Колір тіла коричневий, який залежить від умов населення. На шкірі розташовані рецептори, які сприймають різні роздратування: механічні, термічні, хімічні і світлові. Ця п'явка – хижак, має систему травлення. Харчується дрібними безхребетними, що населяють активний мул. Бере участь у регуляції чисельності видів і омолодженні активного мулу [6].

Asellus aquaticus – рівноногий рак. Його тіло сплюснене у дорзовентальному напрямленні, довжиною 1,5 см. Має чотири пари кінцівок, нервову, кровотворну системи, органи травлення та розмноження, зоровий апарат. Живе та живиться серед органічних рослинних залишків, що розкладаються. Добре переносить нестачу кисню, запобігає процесу гниття [7].

Активний мул – складне утворення мікроорганізмів різноманітних груп бактерій, простіших, грибів, водоростей та вірусів, які використовують органічні та неорганічні речовини із стічних вод як поживні речовини. Усі процеси перетворення речовин у клітинах здійснюються з участю ферментів. Склад мікрофлори та мікрофауни мулу різноманітний і залежить від складу стічних вод, значенню рН та кисню [8].

Методика проведення експерименту визначення важких металів складалася із декілька етапів: відбір проб досліджуваного матеріалу, підготовка матеріалу для аналізу, мінералізація проб відносно ГОСТ 26657-85, екстракція важких металів атомно – абсорбційним методом.

Принцип метода

Атомно-абсорбційний аналіз оснований на способах вільних атомів певних елементів, які утворюються в полум'ї при введенні в ньо-

го аналізуємих розчинів, селективно поглинаючи резонансні випромінювання, визначеної для кожного елемента довжини хвилі. Ступінь атомізації різноманітних елементів залежить від летучості, здатності утворювати в полум'ї дисоційовані сполуки, температури полум'я, хімічного складу проб, концентрації аерозолі в полум'ї та розміру його часток.

Визначення важких металів проводили на атомно – абсорбційному спектрометрі «Квант». У ході експерименту встановлені накопичені концентрації металів вказаними видами та активним мулом: мідь, марганець, кобальт, кадмій, свинець, цинк та залізо (рис. 1–3).

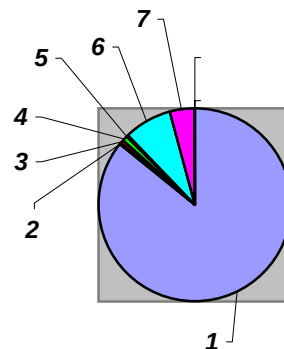


Рис. 1. Результати досліджень концентрацій біосорбіруваних важких металів водним організмом *Herpobdella octoculata*:

1 – залізо, 2 – кадмій, 3 – марганець, 4 – мідь, 5 – кобальт, 6 – цинк, 7 – свинець у кількості 6335; 1,1; 58; 47; 19; 609; 300 мг/кг відповідно

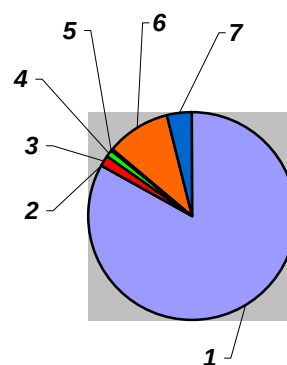


Рис. 2. Результати досліджень концентрацій біосорбіруваних важких металів водним організмом *Asellus aquaticus*:

1 – залізо, 2 – кадмій, 3 – марганець, 4 – мідь, 5 – кобальт, 6 – цинк, 7 – свинець у кількості 8487; 3,2; 162; 119; 43; 1012; 400 мг/кг відповідно

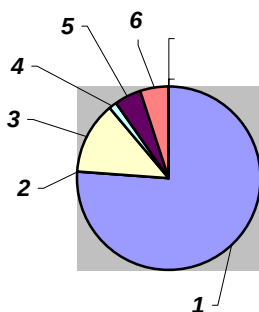


Рис. 3. Результати досліджень концентрацій біоакумульованих важких металів активним мулом:
1 – залізо, 2 – кадмій, 3 – марганець, 4 – мідь, 5 – кобальт, 6 – цинк у кількості 2590; 0,7; 440; 48; 160; 170 мг/кг відповідно

Аналізуючи експериментальні дані можливо стверджувати про суттєве накопичування вказаних токсикантів живими організмами *Herpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* та активним мулом. Цей дослід підтверджує наявність великих концентрацій важких металів у стічних водах міста Дніпродзержинська, які надходять до очисних споруд з травильними водами чорних та кольорових металів, від локальних систем очистки Дніпровського металургійного комбінату, підприємства по виготовленню лаку та фарб. Порівнюючи властивості двох гідробіонтів та активного мулу накопичувати важкі метали, можна помітити, що *Herpobdella octoculata* і *Asellus aquaticus* володіють більш високим потенціалом сорбції вказаних токсикантів ніж активний мул. Результати отриманих концентрацій важких металів наведені у вигляді колоутворюючих діаграм свідчать, що активний мул поступається біосорбційним властивостям відносно усіх металів, за винятком марганцю, котрий він накопичує у кількості 440 мг/кг, а саме в 2,7 разів більше ніж раки і в 7,5 разів більше ніж п'явки. Діаграми свідчать, що найбільш акумулятивним металом серед визначених є залізо, а саме воно утримується організмами *Herpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* та активним мулом у концентрації 6335, 8487 та 2590 мг/кг відповідно. Порівнюючи властивості гідробіонтів та активного мулу по відношенню до їх здатності біологічного очищення стічних вод від свинцю, можна стверджувати, що активний мул не приймає участь у видаленні свинцю, котрий відноситься до першої групи небезпеки. Виходячи з цього, суттєвою різницею між гідробіонтами та активним мулом можливо вважати здатність *Herpobdella octoculata* і *Asellus aquaticus* до адсорбції із стічних вод свинцю,

який утримується у концентраціях 300 та 400 мг/кг відповідно. Такі процеси можливо пояснити тим, що активний мул проявляє біоакуюлюючі властивості по відношенню до важких металів, а гідробіонти навпаки, володіють біосорбційними можливостями, а саме стійкості до важких металів. Сорбція важких металів клітинами гідробіонтів, тобто утримання іонів та комплексів металів компонентами живої біомаси, на теперішній час вважається одним із перспективним досліджуваным явищем у біоколоїдній хімії. Біосорбцію, як електроповерхневе явище у клітинах, слід відрізнати від акумуляції, яка означає депонування металу в середині клітини. Взагалі, по фізичних механізмах ці процеси близькі. Загальним для них являється те, що при акумуляції метали можуть сорбуватися внутріклітинними компонентами подібно тому, як це здійснюється на поверхні клітини. Виходячи з цього, акумуляція металів усереднені клітини, здійснюється без зв'язування, тобто за рахунок роботи мембранних ферментативних систем, які охоплюють формування трансмембранної відмінності електрохімічних потенціалів – як однієї із форм існування енергії у клітині. Тому акумуляція металів клітинами, як правило, є вираженням метаболізм – залежним процесом, в той час як вплив процесів обміну на кількість активних груп зв'язування металів на клітинній поверхні.

Біосорбція та біоаккумуляція приводять в результаті до інтегрального ефекту – зниження концентрації металів у стічних водах і концентруванню їх у клітинних системах живих організмів, тому принципово стає питання про їх живучість, тобто стійкості водних організмів до дії перевищених (у порівнянні з фізіологічними) концентрацій важких металів. Стійкість організмів визначає його можливості нейтралізувати токсичну дію металів. Тому стійкість живого організму до важких металів визначається перш за все їх можливістю знижувати концентрації іонів у зовнішньому середовищі завдяки бар'єрним властивостям клітинної оболонки та попередженню проникнення металів до внутрішньої частини клітини і його дії на чутливі системи.

Висновок

Підводячи підсумок експериментальній роботі, можливо стверджувати, що вилучені з очисних споруд міста Дніпродзержинська гідробіонти та активний мул володіють міцними біосорбційними та біоакуюлюючими властивостями по відношенню до важких металів. Во-

ни приймають активну участь у здійсненні ефективної біологічної очистки стічних вод від токсикантів. Порівнюючи накопичувальні властивості вказаних видів та активного мулу, які наведені в роботі у вигляді колоутворюючих діаграм, можна впевнено сказати, що *Herpobdella octoculata* і *Asellus aquaticus* є більш ефективним знаряддям проти мутагенних та канцерогенних сполук ніж активний мул. Головним їх відзначним фактором є можливість приймати участь у біологічній очистки стічних вод від свинцю. Завдяки своїм біосорбційним властивостям, вони є живими біологічними фільтрами, які запобігають потраплянню високих концентрацій вище вказаних мутагенів до річки Дніпро.

Посилаючись на отримані результати дослідів, в перспективі є плани щодо розробки заходів інтенсифікації біологічної очистки стічних вод від важких металів шляхом збільшення біомаси досліджуваних водних організмів *Herpobdella octoculata* і *Asellus aquaticus* в умовах діючих очисних споруд м. Дніпродзержинська.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Корабльова А. І. Екологія: взаємовідносини людини і середовища. – Д.: Поліграфіст, 1999. – 253 с.

2. Коган Б. И. Современные методы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Сер. Охрана окружающей среды. – М.: Министерство цветной металлургии. Обзорная информация, 1985. – 258 с.
3. Брагинский Л. П. Методические аспекты биотестирования на *Daphnia magna* Straus и других ветвистоусых ракообразных // Гидробиологический журнал. – 2000. – 36, № 5. – С. 56–70.
4. Влияние условий существования на связывание тяжелых металлов в тканях пресноводного двусторчатого моллюска *Anodonta Cygnea* // Гидробиологический журнал. – 2003. – 39, № 6. – С. 72–81.
5. Васюков А. Е. Аккумуляция металлов макрофитами в водоемах зоны Запорожской АЭС // Гидробиологический журнал. – 2003. – 40, № 4. – С. 94–102.
6. Жизнь животных: В 7 т. / Гл. ред. В. Е. Соколов; Под. ред. Ю. И. Полянского. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1987. – Т. 1: Черви. – 448 с.
7. Жизнь животных: В 7 т. / Гл. ред. В. Е. Соколов; Под. ред. Ю. И. Полянского – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1987. – Т. 3: Членистоногие – 510 с.
8. Корабльова А. І. Вступ до екології, токсикології / А. І. Корабльова, Л. Г. Чесанов. – Д.: Щит екологічної освіти, 2001 – 308 с.

Надійшла до редколегії 29. 06. 04.

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ

Проведено критичний аналіз методів сумачії токсикантів з урахуванням ступеня можливих негативних наслідків від присутності конкретного забруднювача в атмосфері. Пропонується застосування інтегрального критерію екологічної безпеки з урахування токсичності окремих поллютантів.

Проведен анализ методов суммации токсикантов с учетом степени возможных негативных последствий от присутствия конкретного загрязнителя в атмосфере. Предлагается применение интегрального критерия экологической безопасности с учетом токсичности отдельных поллютантов.

The paper analyzes methods of summation of the toxicants, with account of the level of possible negative effects from presence of specific pollutants in the atmosphere. The authors propose using an integral criterion of environmental safety with account of toxicity of specific pollutants.

Наукова література та різноманітні нормативні документи містять велику кількість окремих критеріїв безпеки, в тому числі й екологічної безпеки. При цьому часто неможливо судити, по якому з цих критеріїв можна винести остаточне судження про безпеку того чи іншого об'єкта [1].

Для екосфери та її частин – біомів, регіонів, ландшафтів, а саме більш чи менш крупних територіальних природних комплексів, включаючи й адміністративні утворення, основним критерієм екологічної безпеки може служити рівень еколого-економічного, або природно-виробничого паритету, а саме, ступеня відповідності загального техногенного навантаження на територію її екологічній техноємності – граничній стійкості по відношенню до техногенних впливів.

Природно, що по мірі накопичення практики прогнозування та планування діяльності з охорони повітря та особливо при реалізації планових та прогнозних моделей, що відображають велику кількість аспектів заходів з розвитку виробництва та охорони повітряного басейну та висувують суворі вимоги до об'єму та структури вихідної інформації, повинна удосконалюватися і статистична звітність.

Державна статистика з охорони атмосферного повітря сформувалась в середині 70-х років та охоплює рівні звітності від окремих підприємств до народного господарства в цілому. Типову форму звіту з охорони атмосферного повітря № 2-тп (повітря) було розроблено і затверджено ще в 1977 р. [2].

Звісно, за весь цей час були деякі зміни в цій формі, але вона залишається недосконалою. Адже всі небезпечні речовини сумуються без

урахування ступеня можливих негативних наслідків від присутності конкретного забруднювача в атмосфері. Таким чином для того щоб об'єктивно оцінити ступінь негативного впливу конкретного підприємства на довкілля, необхідно при сумачії враховувати токсичність забруднювачів. Наприклад, нам необхідно порівняти викиди двох підприємств. Користуючись формою 2-тп (повітря) це зробити неможливо, тому що одне підприємство викидає, скажімо, 10 т/рік оксиду вуглецю, а інше 1 т/рік бенз(а)пірену. Не можна порівнювати підприємства, що викидають речовини першого чи другого класу небезпеки, з тими, що викидають переважно таку ж кількість речовин четвертого або третього класів [3]. Окрім цього, для об'єктивної порівняльної оцінки ступеня негативного впливу підприємства необхідно враховувати його масштаб.

Методи сумачії токсикантів

Розглянемо деякі методи сумачії та оцінки ступеню впливу промислових об'єктів на довкілля.

В [4] сума зведених мас викидів забруднюючих речовин ($M_{\text{пр}}$) розраховується за формулою:

$$M_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^n M_{\text{пр},j}, \quad (1)$$

де $M_{\text{пр},j}$ – зведена маса викидів конкретної i -тої забруднюючої речовини з переліку речовин, наведеного в [4] від усіх стаціонарних джерел в цілому по підприємству, за умови:

$$M_{\text{пр},j} = K_j \cdot M_j \geq 50,$$

де M_j – маса викидів цієї забруднюючої речовини від стаціонарних джерел в цілому по підприємству, т/рік; K_j – коефіцієнт зведення для цієї забруднюючої речовини, який враховує ступінь небезпеки цієї речовини.

Зведену масу викидів з урахуванням показника відносної агресивності A_i (умовн. т/рік) визначають за формулою [5]

$$M = \sum_{i=1}^N A_i m_i, \quad (2)$$

де m_i – маса викиду домішки i -го виду, т/рік; A_i – показник відносної агресивності речовини, умовн. т/рік; N – загальна кількість домішок у викидах з джерела.

Значення A_i визначають за формулою

$$A_i = a_i \alpha_i \delta_i, \quad (3)$$

де a_i – показник відносної небезпеки присутності домішки в повітрі, яким дихає людина; α_i – поправка на вірогідність накопичення домішок забруднюючих речовин в компонентах довкілля та в харчових ланцюгах, а також попадання домішки в організм людини неінгаляційним шляхом; δ_i – поправка, що враховує дію забруднюючих речовин на різноманітні реципієнти (крім людини).

У деяких випадках у формулу (3) вводяться поправки λ_i – вірогідність вторинного забросу домішок в атмосферу та β_i – вірогідність утворення для легких вуглеводнів вторинного забруднення, більш небезпечного ніж первинне.

Показник a_i та поправки $\alpha_i, \delta_i, \lambda_i, \beta_i$ безрозмірні.

Значення a_i знаходять за формулою

$$a_i = \left(\frac{ГДК_{\text{сСО}} ГДК_{\text{р.зСО}}}{ГДК_{\text{сi}} ГДК_{\text{р.зi}}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{60 \text{ мг}^2/\text{м}^6}{ГДК_{\text{сi}} ГДК_{\text{р.зi}}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

де $ГДК_{\text{сСО}}$ – ГДК оксиду вуглецю в атмосферному повітрі населених пунктів середньодобова, та робочої зони $ГДК_{\text{р.зСО}}$ – дорівнюють відповідно 3 та 20 мг/м³; $ГДК_{\text{сi}}$ та $ГДК_{\text{р.зi}}$ – те саме для i -ї домішки.

Комплексний індекс забруднення атмосфери (ІЗА) розраховують як суму нормованих за $ГДК_{\text{сд}}$ та зведених до концентрації діоксиду сірки середнього вмісту різноманітних речовин:

$$Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{\text{сері}}}{ГДК_{\text{сдi}}} \right)^{c_i} \quad (5)$$

де Y_i – одиничний індекс забруднення для i -ї речовини; $q_{\text{сері}}$ – середня концентрація i -ї речовини; $ГДК_{\text{сдi}}$ – ГДК середньодобова для i -ї речовини; c_i – безрозмірна константа зведення ступеня шкідливості i -ї речовини до шкідливості діоксиду сірки, що залежить від класу небезпеки забруднюючої речовини.

Для співвіднесення даних про забрудненість кількома речовинами атмосфери різних міст або районів міста ІЗА повинні бути розраховані для однакової кількості (n) домішок.

Зведений викид M (г/с) всіх речовин для кожного джерела до одного з них (для речовин з ефектом сумачії)[6]

$$M = M_1 + M_2 \frac{ГДК_1}{ГДК_2} + \dots + M_n \frac{ГДК_1}{ГДК_n}. \quad (6)$$

Умовна маса викидів з урахуванням токсичності (по діоксиду сірки) за [7] розраховують за формулою

$$M_{\text{умовн}} = M/K,$$

де

$$K = \frac{ГДК_{\text{сд}}^{\text{реч}}}{ГДК_{\text{сд}}^{\text{SO}_2}}.$$

Критерій пріоритетності домішок, або критерій небезпеки речовини (KHP) за [8] розраховують за формулою, куди вводиться безрозмірна константа d_i , яка дозволяє співвідносити ступінь шкідливості i -ї речовини зі шкідливістю сірчистого газу та залежить від класу небезпеки:

$$KHP = \left(\sum_{i=1}^j \frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{d_i}, \quad (7)$$

де j – кількість підприємств, що викидають i -ту речовину; M_i – маса викиду i -ї речовини, т/рік; $ГДК$ – середньодобова гранично допустима концентрація i -ї речовини, мг/м³; d_i – безрозмірна константа, яка дозволяє співвідносити ступінь шкідливості i -ї речовини з шкідливістю сірчистого газу. Визначається по табл. 1.

Таблиця 1

Значення d_i для речовин різних класів небезпеки

Константа	Клас небезпеки			
	1	2	3	4
d_i	1,7	1,3	1,0	0,9

Категорію небезпеки речовини визначають за граничними умовами згідно з табл. 2.

Таблиця 2

Граничні умови для розділення забруднюючих речовин на категорії небезпеки

Категорія небезпеки речовини	Значення КНР
1	$KHP \geq 104$
2	$103 \leq KHP < 104$
3	$KHP < 103$

Із проведеного аналізу методів сумачії забруднювачів слід зазначити, що при всіх позитивних рисах основним недоліком цих методів є відсутність комплексного підходу при урахуванні всіх чинників. Ми вважаємо найбільш вдалим визначення зведеної маси викидів з урахуванням показника відносної агресивності як такий, що дозволяє враховувати багато факторів впливу токсиканта.

Критерії екологічної безпеки

Для визначення категорії небезпеки підприємства (КНП) пропонується формула [8]

$$KHP = \sum_i^n \left(\frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{d_i}, \quad (8)$$

де M_i – маса викиду i -ї забруднюючої речовини, т/рік; $ГДК_i$ – середньодобова ГДК i -ї речовини, мг/м³; n – кількість забруднюючих речовин, що викидаються підприємством; d_i – визначається з табл. 1.

За величиною КНП підприємства розділяють на чотири категорії небезпеки (табл. 3).

Таблиця 3

Граничні умови для визначення категорії небезпеки підприємства залежно від КНП

Категорія небезпеки підприємства	Значення КНП
I	$KHP > 106$
II	$106 > KHP > 104$
III	$104 > KHP > 103$
IV	$KHP < 103$

Підприємство розглядається як джерело (генератор) забруднюючої речовини, а саме, як фактор, що виводить систему із рівноваги [9]. Потік маси забруднювача (в умовах виробни-

цтва кількість викидів M , т/рік) та потік дифузії для i -ї речовини $j_{\text{повн}}$ утворюють систему «людина – виробництво – атмосфера». Розв'язавши рівняння цієї системи та прив'язавши результат до прийнятих в промисловій екології показників ГДК, отримуємо критерій якості атмосфери $K_{\text{атм}}$:

$$K_{\text{атм}} = \sum_1^n \left(\frac{M}{ГДК_i} \right)^{\alpha_i} / \sum_1^n \left(\frac{j_{\text{повн}}}{ГДК_i} \right)^{\alpha_i} = \frac{KHP}{KHT}. \quad (9)$$

Оцінка «резервів» стійкості екологічних систем по відношенню до антропогенних впливів є однією з актуальніших задач екологічних досліджень [9]. Важлива форма такої стійкості – асиміляційна здатність біосфери по відношенню до викидів речовини і енергії, що надходять в навколишнє середовище в результаті господарчої діяльності. Економічна оцінка асиміляційного потенціалу (F) атмосфери і гідросфери як елемента національного багатства

$$F = \left[\sum_{i=1}^m ГДВ_i (C_i + Y_i) 0,5 - \sum_{i=1}^m (\phi B_i - ГДВ_i) Y_i \right] E_{\text{нп}}^{-1}, \quad i = 1, m, \quad (10)$$

де $ГДВ_i$ – середньодобова величина гранично допустимого викиду i -го забруднювача для даної території (об'єкта); ϕB_i – фактичне значення середньодобового викиду; C_i – середні затрати на вловлювання i -го викиду; Y_i – середня шкода, заподіяна одиницею i -го викиду на даній території (об'єкті); $E_{\text{нп}}$ – норма дисконтування; m – кількість інгредієнтів забруднення, що враховуються.

В [1] запропоновано такий критерій екологічної безпеки та пов'язані з ним поняття:

$$U \leq T_e, \quad (11)$$

де U – природоємність виробництва території, а саме сукупність обсягів господарського вилучення та ураження місцевих відновлюваних ресурсів; T_e – екологічна техноємність території (ЕТТ) – узагальнена характеристика території, що кількісно дорівнює максимальному техногенному навантаженню, яке може витримати та переносити протягом тривалого часу сукупність всіх реципієнтів та екологічних систем території без порушення їх структурних та функціональних властивостей.

Критерій (11) означає, що сукупне техногенне навантаження не повинно перевищувати самовідновлювального потенціалу природних систем

території. Критерій полягає в основі екологічної регламентації господарської діяльності.

Величини U та T_e визначаються багатьма факторами. Обидві величини можуть бути виражені масою речовини, стандартизованою за небезпекою (токсичністю), а також мати енергетичне або грошове вираження.

Ступінь напруженості екологічної обстановки на території оцінюється кратністю перевищення ЕТТ:

$$K_e = U / T_e \quad (12)$$

Залежно від природи факторів небезпеки існують різні градації K_e . Звичайно при $K_e \leq 0,3$ обстановка вважається благополучною, при $K_e \approx 1$ або $1 < K_e < 2$ критичною, при $K_e > 10$ – надзвичайно небезпечною.

Для окремої території екологічна техноємність T_e об'єктивно дорівнює гранично допустимому техногенному навантаженню (ГДТН).

Якщо трьом компонентам середовища: повітря, воді та землі – приписати відповідно індекси 1, 2 та 3, то ЕТТ може бути приблизно розрахована за формулою:

$$T_e = \sum_{i=1}^3 E_i \cdot X_i \cdot \tau_i \quad (i=1, 2, 3), \quad (13)$$

де T_e – оцінка ЕТТ, виражена в одиницях масового техногенного навантаження, умовн.т/рік; E_i – оцінка екологічної ємності i -го середовища, т/рік; X_i – коефіцієнт варіації для коливань вмісту основної субстанції в середовищі; τ_i – коефіцієнт переведу маси в умовні тони (коефіцієнт умовної небезпеки домішок), умовн.т/т.

Виникає необхідність розробки критерію екологічної безпеки та отримання на його основі загальної оцінки стану об'єкта, визначення небезпечності підприємства та порівняння його роботи з іншими підприємствами галузі. Одним із таких критеріїв може бути відношення зведеної загальної маси викиду до економічного показника, який відображає масштаб чи оборот даного підприємства:

$$B_{\text{пит}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ti} \cdot M_i}{R}, \quad (14)$$

де $B_{\text{пит}}$ – питома вага всіх викидів підприємства за рік, умовних тонн на одиницю продукції; K_{ti} – коефіцієнт токсичності i -го забруднювача, присутнього у викидах підприємства; M_i – загальна

маса викидів i -го забруднювача від усіх джерел по підприємству, т/рік; R – виробничий річний оборот підприємства в грошовому вираженні.

Таким чином, ми можемо об'єктивно оцінити ступінь негативного впливу підприємства на довкілля, враховуючи при цьому не тільки токсичність забруднювачів, а й масштаб підприємства.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Акимов Т. А. Экология: Учебник для вузов / Т. А. Акимов, В. В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 455 с.
2. Гусев А. А. Проблемы совершенствования управления качеством воздушного бассейна. В кн.: Экономические проблемы природопользования. – М.: Наука, 1985.
3. Онищенко Ю. В. Вибір раціональних прийомів оцінки впливу підприємств на довкілля / Ю. В. Онищенко, В. М. Плахотник, А. Х. Драбкіна // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. – Д., 2003. – С. 71–72.
4. Порядок определения налоговой базы при выбросах в атмосферу загрязняющих веществ. Ст. 5, Глава 31 Экологический налог (проект) / Министерство экономического развития и торговли России // <http://www.ecoline.ru/mc/ecotax/draft.php>
5. Быстров А. С. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А. С. Быстров, В. В. Варанкин, М. А. Виленский и др. – М.: Экономика, 1986. – 96 с.
6. Мазур И. И. Инженерная экология. Общий курс. В 2 т.; Т. 2. Справочное пособие / И. И. Мазур, О. И. Молдаванов, В. Н. Шишов; Под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. шк., 1996. – 655 с.
7. Безуглая Э. Ю. Чем дышит промышленный город. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.
8. Рекомендации по делению предприятий на категории опасности в зависимости от массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ. Тема НИР Госкомгидромета 5.29.02, проблема ГКНТ 0.85.04.03.02 Н.Н.1 / Ответств. исполнитель Т. С. Селегой. – Новосибирск: ЗапСибРВЦ, 1987. – 18 с.
9. Старокожева Е. А. Оценка качества атмосферы территориально-производственных комплексов / Е. А. Старокожева, Л. Б. Борисова // Экология и промышленность. России, № 1. – 2001. – С. 23–25.
10. Гофман К. Г. Природопользование и макроэкономические показатели развития народного хозяйства. В кн.: Экономические проблемы природопользования. – М.: Наука, 1985, – С. 3–9.

Надійшла до редколегії 23.11.2004.

Ю. С. БАРАШ, А. А. БОСОВ (ДИИТ),
Г. Н. КИРПА (Министерство транспорта и связи Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ

Запропоновані математична модель і метод оптимізації, що дозволяють встановлювати раціональну послідовність інвестування при введенні високошвидкісного руху поїздів в Україні.

Предложены математическая модель и метод оптимизации, позволяющие устанавливать рациональную последовательность инвестирования при введении высокоскоростного движения поездов в Украине.

A mathematical model and optimization method, allowing to establish rational sequence of investment at introduction of high-speed train services in Ukraine, have been proposed.

В методике, разработанной ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) [1], предлагается несколько показателей, с помощью которых выполняется оценка и порядок проведения технико-экономического обоснования того или иного проекта.

Среди показателей остановимся на чистой текущей стоимости NPV (Net Present Value of Discounted Cash Flow). В некоторых источниках этот показатель называют «интегральный экономический эффект».

Пусть для реализации некоторого проекта необходимо проинвестировать мероприятия (объекты) $\Omega = \{\omega_i; i = \overline{1, n}\}$, относительно которых допускаем, что их реализация может быть выполнена в любой последовательности. Наша задача: найти такую последовательность $\pi = \{\omega_{i(1)}, \omega_{i(2)}, \dots, \omega_{i(n)}\}$, на которой чистая текущая стоимость за любой отрезок времени будет максимальной. Если $u_i(t)$ – интенсивность инвестирования объекта ω_i на отрезке времени $[0; \tau_i]$, а $s_i(t)$ интенсивность чистой прибыли после момента τ_i , то с учетом дисконтирования показатель NPV на момент времени T будет равен

$$NPV(T, \pi) = -U(T, \pi) + S(T, \pi), \quad (1)$$

где

$$\begin{cases} U(T, \pi) = \sum_{i=1}^n \int_{t_i}^{t_i + \tau_i} u_i(t) e^{-\alpha t} dt, \\ S(T, \pi) = \sum_{i=1}^n \int_{t_i + \tau_i}^T s_i(t) e^{-\alpha t} dt. \end{cases} \quad (2) \quad \text{где}$$

Соотношения формулы (2) выписаны для $\pi = \{\omega_{i(1)}, \omega_{i(2)}, \dots, \omega_{i(n)}\}$ и $T \geq \sum_{i=1}^n \tau_i$, α – показатель дисконта. Относительно функций $u_i(t)$ и $s_i(t)$ предполагаем, что они определены для любого $t \geq 0$ и вычисляются по формулам:

$$u_i(t) = \begin{cases} 0 & t < t_i \\ \varphi_i(t - t_i) & t_i \leq t \leq t_i + \tau_i \\ 0 & t > t_i + \tau_i \end{cases}$$

$$s_i(t) = \begin{cases} 0 & t < t_i + \tau_i \\ \psi_i(t - \tau_i) & t \geq t_i + \tau_i \end{cases}.$$

В этих формулах принято, что объект ω_i начинает финансироваться с момента времени t_i и финансирование прекращается после момента $t_i + \tau_i$. Относительно чистой прибыли от объекта ω_i предполагаем, что она начинает поступать только по завершении его реализации. С учетом этих предположений соотношениям (2) можно придать следующий вид:

$$U(T, \pi) = \sum_{i=1}^n e^{-\alpha t_i} \int_0^{\tau_i} \varphi_i(x) e^{-\alpha x} dx;$$

$$S(T, \pi) = \sum_{i=1}^n e^{-\alpha(t_i + \tau_i)} \int_0^{T - t_i - \tau_i} \psi_i(x) e^{-\alpha x} dx,$$

$$t_i = \sum_{v=1}^{i-1} \tau_v, \quad t = 0.$$

Пусть данная последовательность π доставляет показателю $NPV(T, \pi)$ максимальное значение. Тогда, если в последовательности π поменять местами любые два элемента, NPV уменьшится. Данный факт будем использовать для получения оптимальной последовательности.

Выпишем, какой вклад в NPV вносят два соседних элемента ω_i и ω_{i+1}

$$\begin{aligned} \Delta(\omega_i, \omega_{i+1}) = & -e^{-\alpha t_i} \int_0^{\tau_i} \varphi_i(x) e^{-\alpha x} dx - \\ & -e^{-\alpha t_{i+1}} \int_0^{\tau_{i+1}} \varphi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx + \mathcal{M} + \\ & + e^{-\alpha t_{i+1}} \int_0^{T-t_i-\tau_i} \psi_i(x) e^{-\alpha x} dx + \\ & + e^{-\alpha(t_{i+1}+\tau_{i+1})} \int_0^{T-t_{i+1}-\tau_{i+1}} \psi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx. \end{aligned}$$

Если поменять их местами, то получим

$$\begin{aligned} \Delta(\omega_{i+1}, \omega_i) = & -e^{-\alpha t_i} \int_0^{\tau_{i+1}} \varphi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx - \\ & -e^{-\alpha(t_i+\tau_{i+1})} \int_0^{\tau_i} \varphi_i(x) e^{-\alpha x} dx + \\ & + e^{-\alpha(t_i+\tau_{i+1})} \int_0^{T-t_i-\tau_{i+1}} \psi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx + \\ & + e^{-\alpha(t_i+\tau_i+\tau_{i+1})} \int_0^{T-t_{i+1}-\tau_i-\tau_{i+1}} \psi_i(x), \end{aligned}$$

при этом должно выполняться неравенство

$$\Delta(\omega_i, \omega_{i+1}) \geq \Delta(\omega_{i+1}, \omega_i). \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда интенсивность инвестирования и прибыли постоянны, но зависят от ω_i . Соотношение (3) при $T \gg \Sigma \tau_i$ переходит в следующее:

$$\frac{\psi_i}{e^{\alpha \tau_i} - 1} - \varphi_i \geq \frac{\psi_{i+1}}{e^{\alpha \tau_{i+1}} - 1} - \varphi_{i+1}. \quad (4)$$

Неравенство (4) необходимо рассматривать как правило (критерий) упорядочения инвестиций при создании объектов из перечня Ω .

Пример 1. Воспользуемся данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для числового примера

ω_i	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
φ_i , млн у. е./год	2	5	7	3	8
ψ_i , млн у. е./год	20	15	17	21	30
τ_i , годы	7	5	4	9	2
R_i	8,766	8,429	13,678	4,349	77,749
порядок	3	4	2	5	1

Показатель R_i вычисляется по формуле

$$R_i = \frac{\psi_i}{e^{\alpha \tau_i} - 1} - \varphi_i,$$

где показатель дисконта принят равным $\alpha = 0,15$.

Последняя строка табл. 1 представляет собой порядок реализации инвестиций, который равен $\pi = [\omega_5, \omega_3, \omega_1, \omega_2, \omega_4]$. Таким образом, первым инвестироваться должен объект ω_5 , а время начала инвестирования $t_1 = 0$. так как время его создания равно $\tau_5 = 2$, то следующим будет инвестироваться объект ω_3 с временем начала инвестирования $t_2 = t_1 + \tau_5 = 2$. Для объекта ω_1 получим $t_3 = t_2 + \tau_1 = 6$, продолжая эту процедуру далее, получим $t_4 = t_3 + \tau_1 = 13$; $t_5 = t_4 + \tau_2 = 18$.

Пусть $0 < T < t_N + \tau_N$, тогда в предположении, что φ_i и ψ_i постоянны, получим

$$\begin{aligned} U(T, \pi) = & \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{n(T)-1} \varphi_i \left(e^{-\alpha t_i} - e^{-\alpha(t_i+\tau_i)} \right) + \\ & + \varphi_{n(T)} \left(e^{-\alpha t_{n(T)}} - e^{-\alpha T} \right); \quad (5) \end{aligned}$$

$$S(T, \pi) = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{n(T)-1} \psi_i \left(e^{-\alpha(t_i+\tau_i)} - e^{-\alpha T} \right), \quad (6)$$

где

$$n(T) = \max_{t_k \leq T} \{k\}.$$

Значение показателя NPV при данном T и порядке π будет равно

$$NPV(T, \pi) = -U(T, \pi) + S(T, \pi).$$

Заметим, что в приведенных формулах (5) и (6) нумерация объектов соответствует оптимальному порядку.

Как следует из рис. 1 и 2, отклонение от оптимального порядка приводит к существенным изменениям зависимости $NPV(T)$. При оптимальном порядке и $\alpha = 0,15$ срок окупаемости равен $T_{opt} \approx 2,5$ года, а при отклонении от оптимального порядка срок окупаемости составит $T_0 = 6,7$ лет.

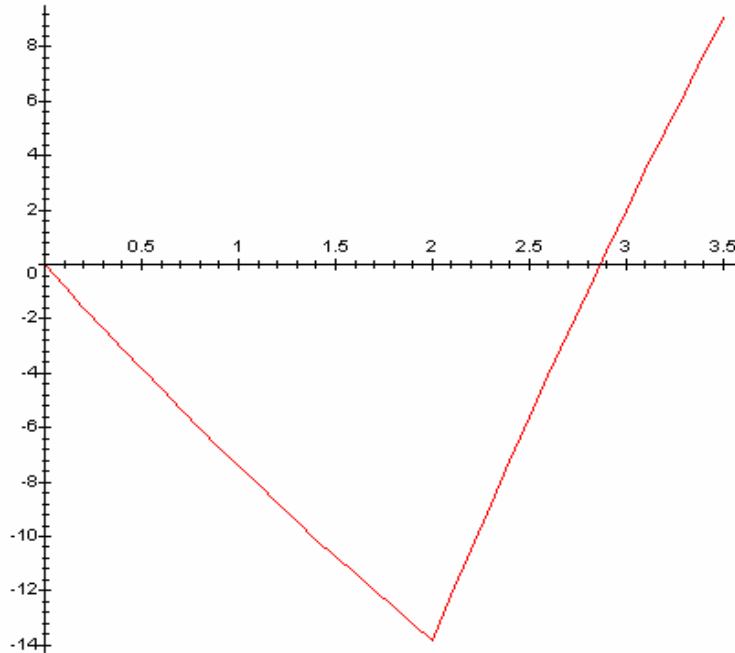


Рис. 1. Зависимость $NPV(T)$ при $\alpha = 0,15$ для оптимального порядка

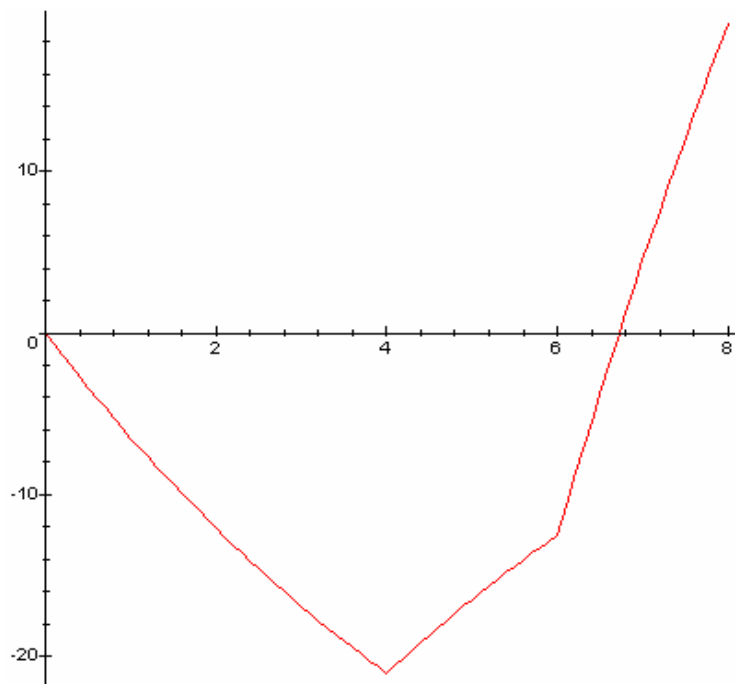


Рис. 2. $NPV(T)$ при $\alpha = 0,15$. В оптимальном порядке следования инвестиций (рис. 1) первые два объекта поменялись местами

Следующим фактом при отклонении от оптимального порядка является более глубокий минимум. В примере при оптимальном порядке максимальная необходимая сумма составит 12,8 млн у. е., а при отклонении от него необходима сумма 20,1 млн у. е., что, с точки зрения финансовой политики, весьма неблагоприятно.

Пример 2. В работе [2] рассмотрена задача формирования рационального перечня объектов инвестирования. Однако в этой работе предусматривалось, что инвестирование любого объекта включает две составляющие:

- мгновенное инвестирование в объеме a_i, b_i ;
- постепенное (непрерывное) инвестирование интенсивности $\varphi_i(t)$ при $t \in [0, \tau_i]$, где τ_i – длительность непрерывного инвестирования.

Что касается прибыли от инвестирования в объект ω_i , то она может наступать и раньше, чем окончание создания этого объекта.

В данном примере выполним отмеченные обобщения и рассмотрим задачу определения рациональной последовательности инвестирования объектов из перечня $\Omega = \{\omega_i : i = \overline{1, n}\}$.

Оговоренные предположения относительно мгновенного инвестирования означают, что время начальных и заключительных операций значительно меньше времени непрерывного инвестирования.

На рис. 3 дана геометрическая интерпретация сделанных допущений.

Относительно величины ξ_i допускаем, что она неотрицательна. Если $\xi_i = \tau_i$, то получим первоначальную модель, а в случае $0 < \xi_i < \tau_i$ имеем вариант, когда отдача от вложений в объект ω_i начинается до его полного создания. Заметим, что вариант $\xi_i > \tau_i$ в данной модели не исключается и может быть интерпретирован как вариант с запаздыванием отдачи от инвестирования на величину $\xi_i - \tau_i$.

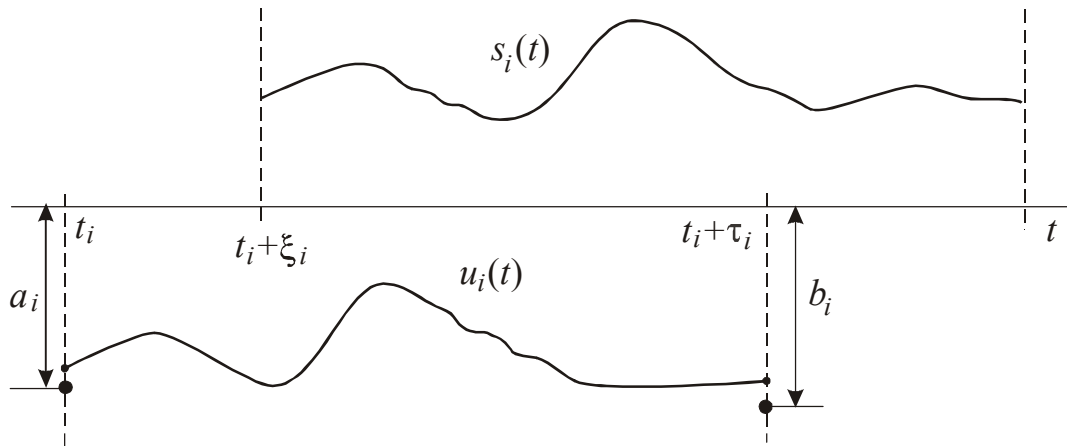


Рис. 3. Возможные варианты инвестирования

Выпишем составляющие $NPV(T)$:

$$U(t) = \sum_{i=1}^{n(t)-1} \left(a_i e^{-\alpha t_i} + \int_{t_i}^{t_i + \tau_i} u_i(x) e^{-\alpha x} dx + b_i e^{-\alpha(t_i + \tau_i)} \right) + a_{n(t)} e^{-\alpha t_{n(t)}} + \int_{t_{n(t)}}^t u_{n(t)}(x) e^{-\alpha x} dx;$$

$$S(t) = \sum_{i=1}^{n(T)-1} \int_{t_i + \xi_i}^t s_i(x) e^{-\alpha x} dx,$$

где

$$n(t) = \max \{k\}.$$

$$t_k \leq t$$

В приведенных соотношениях, как и в (5), (6), допускается, что естественный порядок максимизирует $NPV(T)$. В дальнейшем полагаем

$$\Delta_u(\omega_i, \omega_{i+1}) = \Delta_u(\omega_i) + \Delta_u(\omega_{i+1}),$$

где

$$\Delta_u(\omega_i) = a_i \omega_{i+1} + \int_{t_i}^{t_i + \tau_i} u_i(x) e^{-\alpha x} dx + b_i e^{-\alpha(t_i + \tau_i)}$$

или

$$\Delta_u(\omega_i) = e^{-\alpha t_i} \left(a_i + \int_0^{\tau_i} \varphi_i(x) e^{-\alpha x} dx + b_i e^{-\alpha \tau_i} \right),$$

$$\Delta_u(\omega_{i+1}) = e^{-\alpha t_{i+1}} \left(a_{i+1} + \int_0^{\tau_i} \varphi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx + b_{i+1} e^{-\alpha \tau_{i+1}} \right).$$

Изменив порядок следования, т. е. выполнив вначале ω_{i+1} , а затем ω_i , получим

$$\Delta_u(\omega_{i+1}, \omega_i) = \Delta'_u(\omega_{i+1}) + \Delta'_u(\omega_i),$$

или

$$\Delta'_u(\omega_{i+1}, \omega_i) = e^{-\alpha t_i} \left(a_{i+1} + \int_0^{\tau_{i+1}} \varphi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx + b_{i+1} e^{-\alpha \tau_{i+1}} \right);$$

$$\Delta'_u(\omega_i) = e^{-\alpha(t_i + \tau_{i+1})} \left(a_i + \int_0^{\tau_i} \varphi_i(x) e^{-\alpha x} dx + b_i e^{-\alpha \tau_i} \right).$$

Выпишем соответствующие величины для прибыли

$$\Delta_s(\omega_i, \omega_{i+1}) = \Delta_s(\omega_i) + \Delta_s(\omega_{i+1})$$

или

$$\Delta_s(\omega_i) = \int_{t_i + \xi_i}^t s_i(x) e^{-\alpha x} dx,$$

$$\Delta_s(\omega_{i+1}) = \int_{t_{i+1}}^t s_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx$$

или

$$\Delta_s(\omega_i) = e^{-\alpha(t_i + \xi_{i+1})} \int_0^{t - t_i - \xi_i} \psi_i(x) e^{-\alpha x} dx,$$

$$\Delta_s(\omega_{i+1}) = e^{-\alpha(t_{i+1} + \tau_{i+1})} \int_0^{t - t_{i+1} - \xi_{i+1}} \psi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx.$$

Поменяв порядок, получим

$$\Delta_s(\omega_{i+1}, \omega_i) = \Delta'_s(\omega_{i+1}) + \Delta'_s(\omega_i),$$

где

$$\Delta'_s(\omega_{i+1}) = e^{-\alpha(t_i + \xi_{i+1})} \int_0^{t - t_i - \xi_{i+1}} \psi_{i+1}(x) e^{-\alpha x} dx;$$

$$\Delta'_s(\omega_i) = e^{-\alpha(t_i + \tau_{i+1} + \xi_i)} \int_0^{t - t_i - \tau_{i+1} - \xi_i} \psi_i(x) e^{-\alpha x} dx.$$

Необходимое условие оптимальности естественного порядка представляет собой

$$-\Delta_u(\omega_i, \omega_{i+1}) + \Delta_s(\omega_i, \omega_{i+1}) \geq -\Delta_u(\omega_{i+1}, \omega_i) + \Delta_s(\omega_{i+1}, \omega_i). \quad (7)$$

Положим

$$\tilde{\varphi}_i = a_i + \int_0^{\tau_i} \varphi_i(x) e^{-\alpha x} dx + b_i e^{-\alpha \tau_i},$$

$$\tilde{\psi}_i(z) = \int_0^z \psi_i(x) e^{-\alpha x} dx.$$

Необходимому условию (7) придадим форму

$$\begin{aligned} & -\left(e^{-\alpha t_i} \tilde{\varphi}_i + e^{-\alpha(t_i + \tau_i)} \tilde{\varphi}_{i+1} \right) + e^{-\alpha(t_i + \xi_i)} \tilde{\psi}_i(t - t_i - \xi_i) + \\ & + e^{-\alpha(t_i + \tau_i + \xi_{i+1})} \tilde{\psi}_{i+1}(t - t_i - \tau_i - \xi_{i+1}) \geq -\left(e^{-\alpha t_{i+1}} \tilde{\varphi}_{i+1} + \right. \\ & \left. + e^{-\alpha(t_i + \tau_{i+1})} \tilde{\varphi}_i \right) + e^{-\alpha(t_i + \xi_{i+1})} \tilde{\psi}_{i+1}(t - t_i - \xi_{i+1}) + \\ & + e^{-\alpha(t_i + \tau_{i+1} + \xi_i)} \tilde{\psi}_i(t - t_i - \tau_{i+1} - \xi_i). \quad (8) \end{aligned}$$

Неравенство (8) можно упростить, если умножить на положительную величину $e^{\alpha t_i}$ и устремить $t \rightarrow \infty$ и предположить, что существуют интегралы

$$\tilde{\psi}_i = \int_0^\infty \psi_i(x) e^{-\alpha x} dx.$$

При таких допущениях имеем

$$\begin{aligned} & -\left(\tilde{\varphi}_i + e^{-\alpha \tau_i} \tilde{\varphi}_{i+1} \right) + e^{-\alpha \xi_i} \tilde{\psi}_i + e^{-\alpha(\tau_i + \xi_{i+1})} \tilde{\psi}_{i+1} \geq \\ & \geq -\left(\tilde{\varphi}_{i+1} + e^{-\alpha \tau_{i+1}} \tilde{\varphi}_i \right) + e^{-\alpha \xi_{i+1}} \tilde{\psi}_{i+1} + e^{-\alpha(\tau_{i+1} + \xi_i)} \tilde{\psi}_i \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} & -\tilde{\varphi}_i + e^{-\alpha \xi_i} \tilde{\psi}_i + e^{-\alpha \tau_{i+1}} \tilde{\varphi}_i - e^{-\alpha(\tau_i + \xi_{i+1})} \tilde{\psi}_i \geq \\ & \geq -\tilde{\varphi}_{i+1} + e^{-\alpha \tau_i} \tilde{\varphi}_{i+1} + e^{-\alpha \xi_{i+1}} \tilde{\psi}_{i+1} - e^{-\alpha(\tau_{i+1} + \xi_i)} \tilde{\psi}_{i+1}. \end{aligned}$$

Окончательно имеем

$$\tilde{R}_i \geq \tilde{R}_{i+1}, \quad (9)$$

где

$$\tilde{R}_i = \frac{e^{-\alpha \tau_i} \tilde{\psi}_i - \tilde{\varphi}_i}{1 - e^{-\alpha \tau_i}}.$$

Пример 3. В данном примере рассмотрим ситуацию, когда интенсивность инвестиру-

ния постоянна, а интенсивность прибыли монотонно возрастает и стремится к некоторой постоянной.

В качестве модели для инвестирования прибыли возьмем

$$\psi_i(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \xi_i; \\ A_i \left(1 - e^{-\beta_i(t-\xi_i)}\right), & t \geq \xi_i. \end{cases}$$

В этом случае

$$\tilde{\psi}_i(t) = A_i \int_{\xi_i}^{\infty} \left(1 - e^{-\beta_i(t-\xi_i)}\right) e^{-\alpha t} dt = \frac{A_i \beta_i e^{-\alpha \xi_i}}{\alpha(\alpha + \beta_i)};$$

$$\tilde{\varphi}_i(t) = a_i + \frac{\varphi_i}{\alpha} \left(1 - e^{-\alpha t_i}\right) + b_i e^{-\alpha t_i},$$

а показатель $\tilde{R}_i$ будет равным

$$\tilde{R}_i = \frac{e^{-2\alpha \xi_i} A_i \beta_i - \left(a_i + \frac{\varphi_i}{\alpha} \left(1 - e^{-\alpha t_i}\right) + b_i e^{-\alpha t_i}\right)}{1 - e^{-\alpha t_i}}. \quad (10)$$

Используя показатель (10) и правило (9), получаем возможность построения такого порядка инвестирования, при котором показатель NPV будет максимальным.

Заметим, что правило (9) позволяет реализовать минимальное время окупаемости PBP (Pay-Back Period) и минимизировать максимальный денежный отток (Cash Outflow). Очевидно, что Cash Outflow позволяет определить необходимые размеры финансирования.

Пример 4. Остановимся на ситуации, когда интенсивности инвестирования и прибыли постоянны, но имеют неопределенный характер, т. е. можно указать только оценки снизу и сверху.

В качестве математической модели для данной ситуации будут использованы случайные величины, распределенные по равномерному закону. Показатель, с помощью которого будем упорядочивать объекты в данном примере, будет равным

$$R_i = \frac{\psi_i}{e^{-\alpha t_i} - 1} - \varphi_i.$$

Неопределенные величины ψ_i и φ_i моделируем случайными величинами, распределенными по равномерному закону, т. е. $\psi_i \in [\underline{\psi}_i, \bar{\psi}_i]$; $\varphi_i \in [\underline{\varphi}_i, \bar{\varphi}_i]$.

Считаем, что ψ_i и φ_i – независимые случайные величины. Показатель R_i тоже будет

моделироваться случайной величиной, закон распределения вероятностей для которой определяем по формуле

$$F_i(x) = P\{R_i < x\} = \iint_{Q(x)} f_{\psi}(x_1) f_{\varphi}(x_2) dx_1 dx_2,$$

где область интегрирования Q представляет собой

$$Q(x) = \{(x_1, x_2) : x_1 \in [\underline{\psi}_i, \bar{\psi}_i], x_2 \in [\underline{\varphi}_i, \bar{\varphi}_i]; R_i < x\},$$

где $f_{\psi}(x_1)$, $f_{\varphi}(x_2)$ – плотности распределения для ψ_i и φ_i соответственно.

Установим пределы изменения R_i

$$\underline{R}_i = \frac{\underline{\psi}_i}{e^{\alpha \tau_i} - 1} - \bar{\varphi}_i; \quad \bar{R}_i = \frac{\bar{\psi}_i}{e^{\alpha \tau_i} - 1} - \underline{\varphi}_i,$$

тогда порядок инвестирования определяется из условия, что вероятность

$$\gamma = P\{R_1 \geq R_2 \geq \dots \geq R_n\} \rightarrow \max.$$

Данную вероятность, используя $F_i(x)$, вычисляем по формуле

$$\gamma = \int_{\substack{\underline{R}_i \leq x_i \leq \bar{R}_i \\ i=1, n \\ x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_n}} \dots \int dF_1(x_1) dF_2(x_2) \dots dF_n(x_n).$$

Приведенные формулы выписаны для естественного порядка, чтобы не загромождать идею постановки задачи. В общем случае порядок π можно задать в виде

$$\pi = [i(1), i(2), \dots, i(n)],$$

где $i(j)$ – номер места, которое занимает ω_i в данном порядке, тогда

$$\gamma(\pi) = \int_{\substack{\underline{R}_{i(j)} \leq x_{i(j)} \leq \bar{R}_{i(j)} \\ j=1, n \\ x_{i(1)} \geq x_{i(2)} \geq \dots \geq x_{i(n)}}} \dots \int \prod_{j=1}^n dF_{i(j)}[x_{i(j)}] dF_2(x_2)$$

и необходимо найти такой порядок π^* , чтобы

$$\gamma(\pi^*) \geq \gamma(\pi),$$

где π – любой другой порядок.

Вопрос о существовании π^* не вызывает сомнения, так как всех порядков конечное число ($n!$).

Далее рассмотрим две ситуации, которые позволяют построить оценки $NPV(t)$ снизу и сверху.

Взяв в качестве $\varphi_i = \overline{\varphi}_i$; $\psi_i = \underline{\psi}_i$; $i = \overline{1, n}$ и построив соответствующий порядок $\underline{\pi}$, получим следующее отношение:

$$NPV(t, \underline{\pi}) \leq NPV(t, \pi),$$

справедливое для любого другого порядка π , отличного от $\underline{\pi}$.

Положив $\varphi_i = \underline{\varphi}_i$; $\psi_i = \overline{\psi}_i$; $i = \overline{1, n}$ и найдя порядок, получим

$$NPV(t, \underline{\pi}) \leq NPV(t, \pi) \leq NPV(t, \overline{\pi}),$$

что позволяет иметь оптимистическую и пессимистическую оценки для NPV в условиях неопределенности. Для численного расчета возьмем исходные данные из табл. 1, а значения φ_i и ψ_i проварьируем согласно табл. 2.

В табл. 2 приведены значения $\underline{R}_i$ и $\overline{R}_i$ для пессимистического и оптимистического вари-

антов в соответствии с заданными процентами вариации. В двух последних строчках даны последовательности $\underline{\pi}$ и $\overline{\pi}$. Для этих последовательностей вычислены $NPV(t, \underline{\pi})$ и $NPV(t, \overline{\pi})$, которые и представлены на рис. 4.

Таблица 2

ω_i	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
φ_i , млн у. е./год	2,000	5,000	7,000	3,000	8,000
ψ_i , млн у. е./год	20,000	15,000	17,000	21,000	30,000
τ_i , годы	7,000	5,000	4,000	9,000	2,000
$\pm \Delta$ %	10,000	5,000	20,000	15,000	30,000
$\underline{R}_i$	7,490	7,507	8,143	2,797	49,624
$\overline{R}_i$	10,043	9,350	19,214	5,907	105,874
$\underline{\pi}$	4,000	3,000	2,000	5,000	1,000
$\overline{\pi}$	3,000	4,000	2,000	5,000	1,000

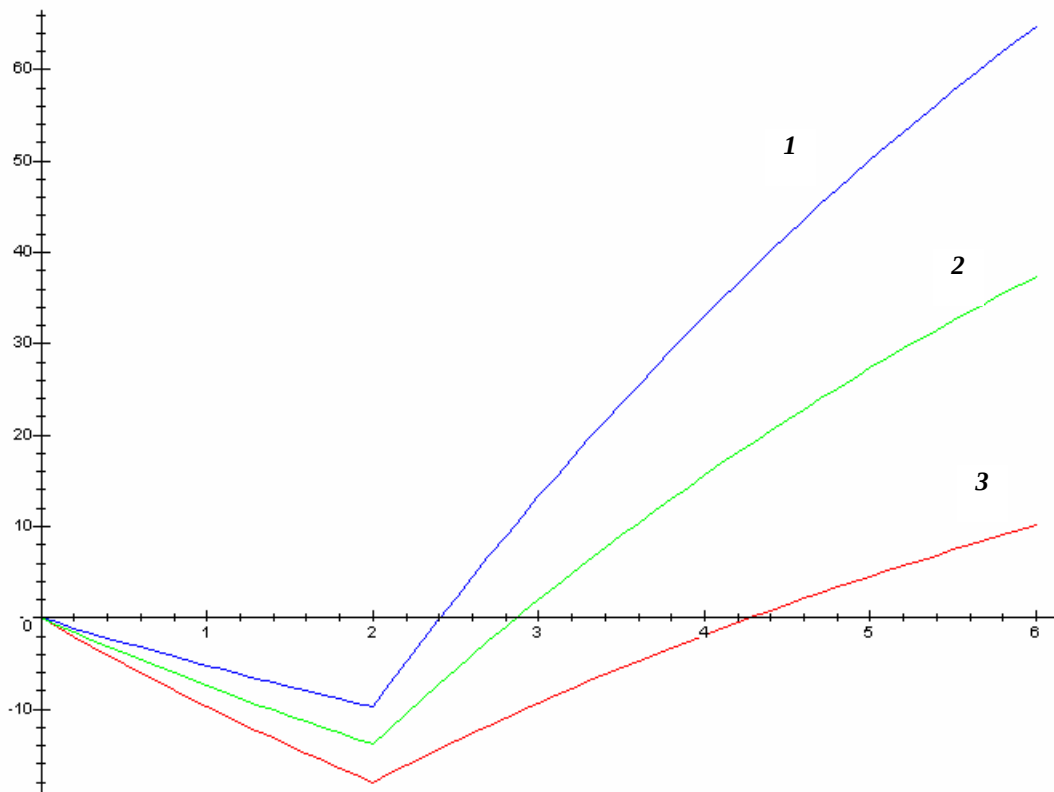


Рис. 4. Графики прогнозов:
1 – оптимистический прогноз; 2 – ожидаемый прогноз; 3 – пессимистический прогноз

Приведенные значения NPV выполнены при $\alpha = 0,15$ или $E \approx 16,2$ % годовых. Если ожидаемое время оборота в данном примере равно 2,8 года, то с вероятностью единица реальное значение принадлежит интервалу $[2,4; 4,3]$ года, а последовательности инвестирования

$$\pi = [\omega_5, \omega_3, \omega_1, \omega_2, \omega_4];$$

$$\bar{\pi} = [\omega_5, \omega_3, \omega_2, \omega_1, \omega_4].$$

Пример 5. Данный пример является обобщением примера 4 в том плане, что сроки инвестирования $\tau_i, i = \overline{1, n}$ также четко неопределенны и заданы в виде интервалов $[\underline{\tau}_i, \bar{\tau}_i]$, где $\underline{\tau}_i$ минимально возможный, а $\bar{\tau}_i$ – максимально возможный срок инвестирования.

В этом примере также введем пессимистическую ситуацию, когда $\varphi = \bar{\varphi}_i, \psi_i = \underline{\psi}_i, \tau_i = \bar{\tau}_i, i = \overline{1, n}$ и оптимистическую $\varphi = \underline{\varphi}_i, \psi_i = \bar{\psi}_i, \tau_i = \underline{\tau}_i, i = \overline{1, n}$. Каждой из этих ситуаций будут соответствовать свои последовательности инвестирования, которые определяем, используя показатели

$$\underline{R}_i = \frac{\underline{\psi}_i}{e^{\alpha \tau_i} - 1} - \bar{\varphi}_i; \quad i = \overline{1, n}$$

и

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{\psi}_i}{e^{\alpha \tau_i} - 1} - \underline{\varphi}_i; \quad i = \overline{1, n}$$

для формирования рациональных последовательностей соответственно пессимистической и оптимистической.

Для численных расчетов воспользуемся данными табл. 2 и сформируем исходную информацию пессимистического толка (табл. 3).

Для определения оптимистического порядка составим табл. 4 аналогично табл. 3.

Таблица 3

ω_i	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
$\bar{\varphi}_i$, млн у. е./год	2,000	5,000	7,000	3,000	8,000
$\underline{\psi}_i$, млн у. е./год	18,000	14,250	13,600	16,800	21,000
$\bar{\tau}_i$, годы	7,700	5,250	4,800	10,350	2,600
$\underline{R}_i$	6,080	6,646	4,498	1,062	10,197
Порядок	3,000	2,000	4,000	5,000	1,000

Таблица 4

ω_i	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
$\bar{\varphi}_i$, млн у. е./год	1,800	4,750	9,600	2,550	5,600
$\bar{\psi}_i$, млн у. е./год	22,000	15,750	20,400	24,150	39,000
$\underline{\tau}_i$, годы	6,300	4,750	3,200	7,680	1,400
$\bar{R}_i$	12,188	10,408	27,513	8,681	161,296
Порядок	4,000	3,000	2,000	5,000	1,000

Зависимость NPV для пессимистического и оптимистического вариантов представлена на рис. 5.

Если сравнить графики на рис. 4 и 5, то можно отметить, что время окупаемости в последнем случае имеет больший интервал разброса, чем на рис. 4. Этот факт вполне ожидаем, так как неопределенных параметров на рис. 5 больше, чем на рис. 4.

В качестве объектов инвестирования принимаем определенные направления ω_i .

Положим:

ω_1 : Киев – Полтава – Харьков;

ω_2 : Киев – Полтава – Днепропетровск;

ω_3 : Киев – Полтава – Днепропетровск – Донецк;

ω_4 : Киев – Полтава – Днепропетровск – Запорожье;

ω_5 : Киев – Полтава – Днепропетровск – Запорожье – Мелитополь – Симферополь;

ω_6 : Харьков – Полтава – Днепропетровск – Кривой Рог – Николаев – Одесса;

ω_7 : Киев – Белая Церковь – Николаев – Одесса;

ω_8 : Киев – Белая Церковь – Николаев – Херсон – Симферополь;

ω_9 : Киев – Белая Церковь – Винница – Хмельницкий – Тернополь.

Любой из перечисленных объектов (направлений) может быть взят в качестве первого объекта инвестирования, но после его реализации параметры инвестирования будут другими для остальных объектов.

В дальнейшем будем исходить из следующих допущений:

– время создания того или иного ω_i пропорционально его длине;

– прибыль от создания ω_i пропорциональна пассажиропотоку и длине направления ω_i .

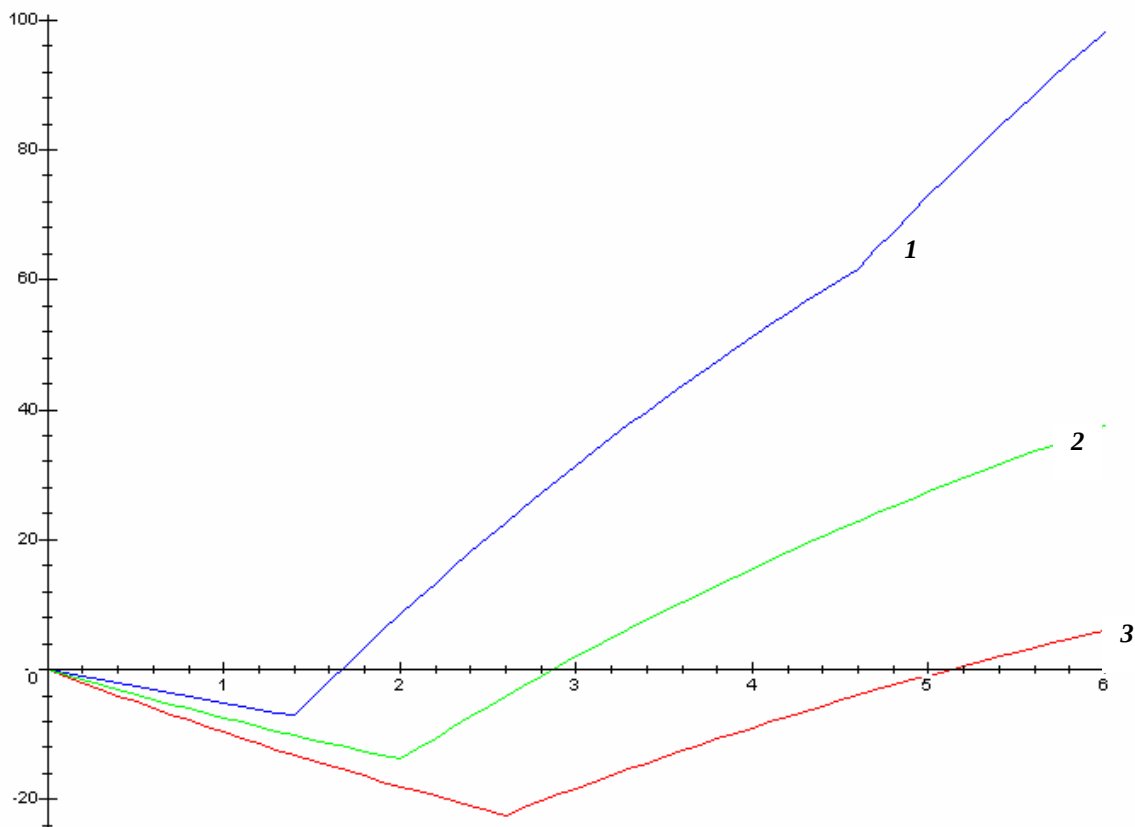


Рис. 5. Зависимость NPV :

1 – оптимистический вариант; 2 – ожидаемый вариант; 3 – пессимистический вариант

В силу сделанных допущений для каждого ω_i показатель

$$R_i = \frac{aP_i l_i}{e^{\alpha l_i / v}} - b l_i',$$

где принято $\phi_i = b l_i'$;

$$\psi_i = a P_i l_i; \quad \tau_i = \frac{l_i''}{v},$$

где l_i – длина направления ω_i (км); P_i – пассажиропоток направления (млн пасс/год); v –

скорость строительства (км/год); a, b – коэффициенты пропорциональности; l_i' – длина пути, которую надо построить с учетом предшествующих реализаций.

При сделанных допущениях и выбранных направлениях исходная информация о параметрах инвестирования представлена в табл. 5. Из этой таблицы следует, что R_1 максимально, следовательно, в первую очередь должно быть построено направление ω_1 : Киев – Полтава – Харьков. С учетом этого сформируем табл. 6.

Таблица 5

ω_i	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}	ω_{11}
l_i	440	440	660	520	871	680	525	705	530	920	691
P_i	2,561	1,435	2,001	1,767	8,573	1,502	3,977	4,069	2,047	1,900	2,069
τ_i	2,2	2,2	3,3	2,6	4,4	3,4	2,6	3,5	2,7	4,6	3,5
R_i	-7111	-7578	-10853	-8713	-11965	-11360	-7926	-10797	-8755	-15538	-11319

Таблица 6

ω_i	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}	ω_{11}
l_i	440	660	520	871	680	525	705	530	920	691
l'_i	130	350	210	561	550	525	705	530	610	561
τ_i	0,7	1,8	1,1	2,8	2,8	2,6	3,5	2,7	3,1	2,8
P_i	1,435	2,001	1,767	8,573	1,502	3,977	4,069	2,047	1,900	2,069
R_i	-3892	-6144	-4334	-5384	-9393	-7926	-10797	-8755	-10237	-9302

Из этой таблицы следует, что следующим должен быть построен элемент Полтава – Днепропетровск и тем самым будет создано направление ω_2 : Киев – Полтава – Днепропетровск.

Продолжая аналогичным образом, получаем следующую последовательность:

- ω_4 : Киев – Полтава – Днепропетровск – Запорожье;
- ω_5 : Киев – Полтава – Днепропетровск – Запорожье – Мелитополь – Симферополь;
- ω_{11} : Харьков – Днепропетровск – Запорожье – Мелитополь – Симферополь.
- ω_3 : Киев – Полтава – Днепропетровск – Донецк;
- ω_{10} : Киев – Полтава – Днепропетровск – Донецк – Луганск – Мариуполь;
- ω_6 : Харьков – Полтава – Днепропетровск – Кривой Рог – Николаев – Одесса;
- ω_7 : Киев – Белая Церковь – Николаев – Одесса;
- ω_8 : Киев – Белая Церковь – Николаев – Херсон – Симферополь;
- ω_9 : Киев – Белая Церковь – Винница – Хмельницкий – Тернополь – Львов.

Таким образом, рациональная последовательность создания сети линий высокоскоростного движения пассажирских поездов в Украине представляет собой

$$\pi_{\text{opt}} = [\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_{11}, \omega_3, \omega_{10}, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9].$$

Заметим, что после создания ω_5 , автоматически будет создан и ω_{11} . Тогда в последовательности π ω_{11} не требует инвестирования.

При скорости строительства 200 км пути в год на создание сети потребуется 15,23 года, а при $\alpha = 0,1$ возврат вложений будет через 15 лет (рис. 6). При меньшей скорости строительства экономические показатели существенно ухудшаются (рис. 7, 8).

В математической модели инвестирования зависимых объектов объект ω_i представляет собой набор E_i некоторых элементов $e_k \in \Omega$.

Так, например, направление

ω_1 : Киев – Полтава – Харьков состоит из двух элементов $E_1 = \{e_1, e_2\}$ и т. д. (рис. 6), а направление;

ω_2 : Киев – Полтава – Днепропетровск представляет собой $E_2 = \{e_1, e_3\}$ и т. д.

В общем случае будем записывать $\omega_i = E_i \subseteq \Omega$. Тогда, если ω_i инвестируется раньше, чем ω_j , то из ω_j должны быть исключены элементы, общие для ω_i и ω_j . Когда приходит очередь инвестирования объекта ω_j , то множество

$$\tilde{E}_j = E_j \setminus \left(\bigcup_{k=1}^{j-1} E_k \right)$$

представляет собой набор элементов, которые необходимо инвестировать и объем инвестирования ω_j в данном случае представляет собой

$$\tilde{u}_j = \sum_{e \in \tilde{E}_j} u(e).$$

В нашем случае данное соотношение принимает вид

$$\tilde{u}_j = b \sum_{e \in \tilde{E}_j} l(e), \quad (11)$$

где $l(e)$ – длина элемента e .

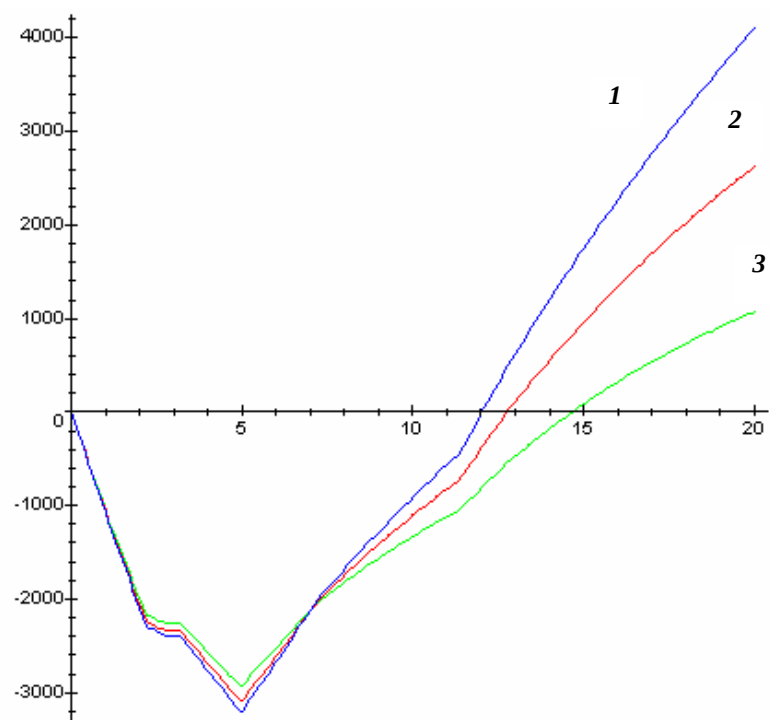


Рис. 6. $NPV(t)$ при скорости строительства $V = 200$ км/год:
 1 – $\alpha = 0,07$; 2 – $\alpha = 0,05$; 3 – $\alpha = 0,1$

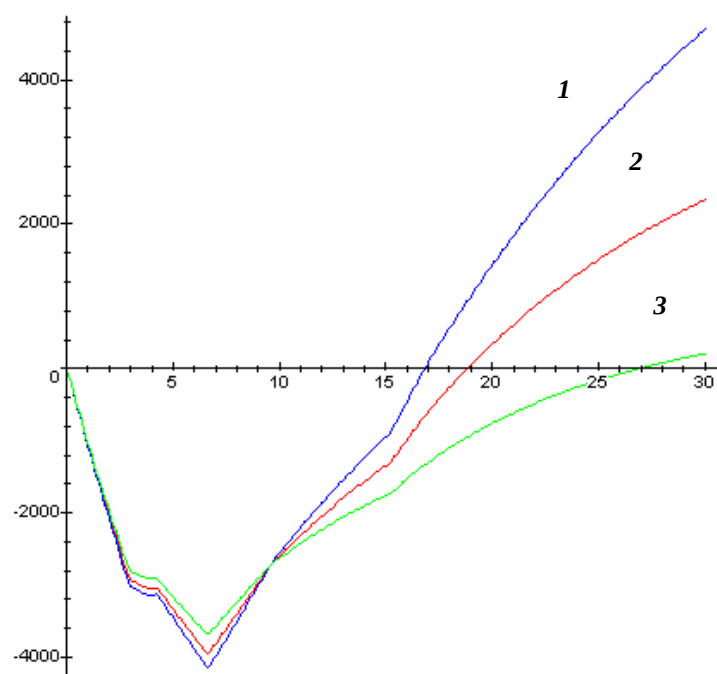


Рис. 7. $NPV(t)$ при скорости строительства $V = 150$ км/год:
 1 – $\alpha = 0,07$; 2 – $\alpha = 0,05$; 3 – $\alpha = 0,1$

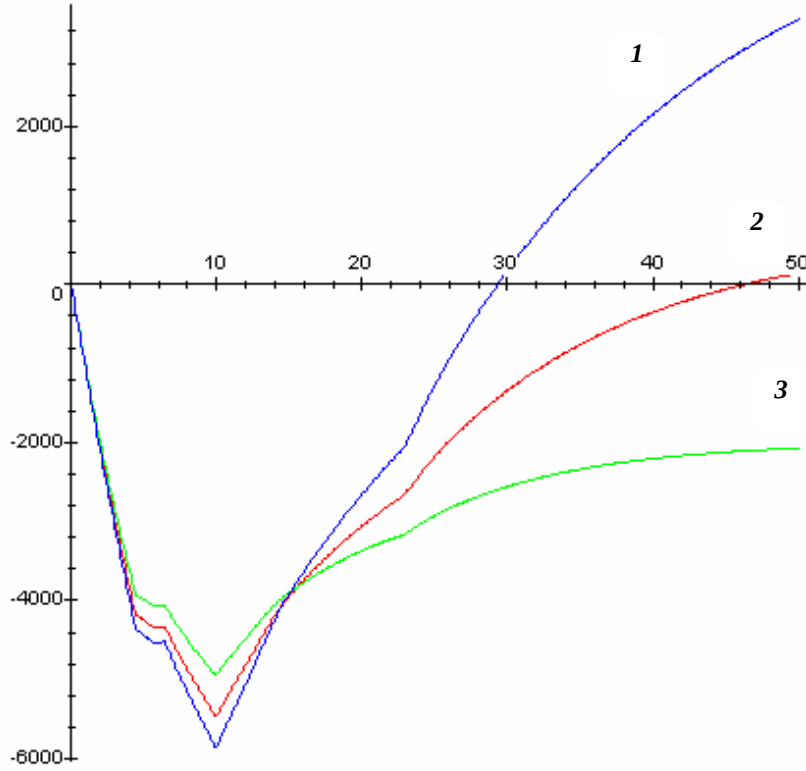


Рис. 8. $NPV(t)$ при скорости строительства $V = 100$ км/год:
 $1 - \alpha = 0,07$; $2 - \alpha = 0,05$; $3 - \alpha = 0,1$

Естественно, изменится и время инвестирования направления ω_j и оно будет определяться по формуле

$$\tilde{\tau}_j = \sum_{e \in \bar{E}_j} \tau(e). \quad (12)$$

Тогда показатель R_j будет рассчитываться следующим образом:

$$R_j = \frac{aP_j l_j}{e^{\alpha \tau_j} - 1} - \tilde{\Phi}_j,$$

где

$$l_j = \sum_{E_j} l(e).$$

И если естественный порядок инвестирования оптимальный, то должно выполняться соотношение

$$R_j \geq R_k, \quad k = \overline{j+1, n},$$

где R_k рассчитаны с учетом реализованных направлений от 1 до $j-1$.

Алгоритм определения рациональной последовательности инвестирования имеет следующие основные элементы:

1. Формируем объекты инвестирования $\omega_i = E_i$, $i = \overline{1, m}$ из элементов множества $E = \{e_i, i = \overline{1, n}\}$.

2. Полагаем $I_n = [1, 2, \dots, m]$; $I = \emptyset$; $E' = \emptyset$.

3. Если $I_n \setminus I = \emptyset$, то переходим к п. 7.

4. Пересчитываем τ_i и Φ_i , $i \in I_n \setminus I$.

5. Определяем такой номер i_* , что $R_{i_*} \geq R_i$, $i \in I_n \setminus I$.

6. Номер i_* посылаем в I и переходим к п. 3.

7. Выдача списка I как оптимальной последовательности инвестирования.

Остановимся более детально на п. 4, в котором время инвестирования τ_i и интенсивность инвестирования зависят от объектов, предшествующих объекту ω_i .

Обозначим через

$$\tau_i = \tau_i(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i);$$

$$\varphi_i = \varphi_i(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i)$$

зависимости τ_i и φ_i от предшествующих объектов в оптимальной последовательности.

В явном виде данные зависимости применительно к рассматриваемой сети линий железных дорог высокоскоростного движения пассажирских поездов описываются соотношениями (11) и (12). Однако в общем случае эти зависимости могут быть и другими, что требует определенного программного обеспечения для расчета τ_i и φ_i .

Если этот пункт пополнить пересчетом интенсивностей прибыли ψ_i , то данный алгоритм будет обладать определенной общностью и применим к широкому кругу инвестиционных задач.

Отметим только, что показатель R_i должен рассчитываться по формуле

$$\tilde{R}_i = \frac{e^{-\alpha \xi_i} \tilde{\psi}_i - \tilde{\varphi}_i}{1 - e^{-\alpha \xi_i}}, \quad (13)$$

где $\tilde{\varphi}_i, \tilde{\psi}_i, \xi_i$ – параметры объекта ω_i , зависящие от предшествующих объектов. Экономический смысл данных параметров: $\tilde{\varphi}_i$ – суммарный дисконтированный объем инвестирования ω_i , $\tilde{\psi}_i$ – суммарная дисконтированная прибыль от ω_i , ξ_i – время, через которое начнет поступать прибыль от ω_i , отсчитываемое от начала его инвестирования.

Выводы

Предложена методика определения рациональной последовательности инвестирования с учетом дисконтирования.

Методика апробирована на тестовом примере и выполнен расчет рациональной последовательности создания сети линий железных дорог высокоскоростного движения пассажирских поездов в Украине.

При кредитных ставках 5...10 % годовых и росте пассажиропотока в четыре раза по сравнению с 2002 годом, при затратах 3 млн евро на строительство одного километра пути при цене перевозки 0,0625 евро/пасс·км и эксплуатационных расходах 0,03 евро/пасс·км, при скорости строительства пути 200 км/год срок окупаемости будет находиться в интервале 12...15 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. UNIDO Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. Vienna, UNIDO, ID/206, 1986.
2. Босов А. А. Математическая постановка задачи о рациональном инвестировании / А. А. Босов, А. А. Сидоренко // Математичне модулювання в інженерних та економічних задачах транспорту: Зб. наук. пр. – Д.: Січ, 1999. – С. 5–13.
3. Босов А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Д. Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп., 2004. – 144 с.

Поступила в редколлегию 27.07.2004.

А. А. БОСОВ, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ, М. Б. КУРГАН (ДІП),
А. П. ЗУБКО (Укрзалізниця)

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРУ РЕКОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Поставлена і вирішена задача оптимальної перебудови ділянки для впровадження швидкісного руху поїздів. Показано, що раціональний варіант залежить від виділених коштів на проведення реконструкції.

Поставлена и решена задача оптимального переустройства участка для внедрения скоростного движения поездов. Показано, что рациональный вариант зависит от выделенных средств на проведение реконструкции.

The paper has raised and proposed solution of the task of an optimum reorganization of railway section for introduction of high speed train services. It has been shown that the rational solution depends on the size of investments, allocated for the reconstruction.

Вступ

Кожна країна має потребу у високопродуктивній надійній екологічно чистій і конкурентноспроможній транспортній системі, що повною мірою задовольняє потреби її населення у швидкому і комфортному пересуванні і надійному забезпеченні вантажних перевезень.

Оскільки мережа українських залізниць взаємодіє з мережами залізниць інших країн, насамперед Росії, то підготовленість сусіднього регіону до впровадження швидкісного руху має велике значення для України.

Так, у Росії розроблена і прийнята Концепція організації швидкісного і високошвидкісного руху, що передбачає в ув'язуванні з білоруською й українською мережами поетапне підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів до 160...200 км/год на існуючих залізничних лініях на період до 2010 року.

Один з десяти намічених полігонів швидкісного руху Москва–Суземка (488 км). Передбачається комплекс реконструктивних робіт з ліквідації бар'єрних місць, що перешкоджають організації швидкісного руху. Установлені розрахункові розміри руху (9 пар поїздів за добу), максимальна швидкість (160 км/год), час у дорозі (5 год 04 хв проти існуючого 8 год 01 хв), визначені терміни введення швидкісного руху – 2010 рік.

Беручи до уваги програмні матеріали України [1–3], Головне управління розвитку та інвестицій Укрзалізниці і Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту провели наукові дослідження з розробкою стратегії підвищення швидкості руху поїздів на основних на-

прямках залізниць. Як приклад наводяться результати для напрямку Київ–Зернове Південно-Західної залізниці (рис. 1).

Метою дослідження є розробка стратегії підвищення швидкості руху поїздів на ділянці Київ–Зернове, що дозволить залучити додаткові об'єми перевезень при оптимальному використанні капіталовкладень на реконструкцію об'єктів.

Для виконання програми досліджень були зібрані й систематизовані дані про інфраструктуру, технічне оснащення, план і поздовжній профіль колії, визначені обсяги робіт з реконструкції ділянки для різних рівнів максимальної швидкості.

1. Загальні положення

Як показує практика, одночасна перебудова великого числа об'єктів неможлива по безлічі різних причин, основними з яких є обмеження фінансових і матеріально-технічних ресурсів. Звідси виникає задача вибору оптимальної послідовності реконструкції лінії при обмежених ресурсах. При цьому важливо не тільки раціонально розподілити капітальні вкладення по ділянках, але й ефективно їх використовувати.

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

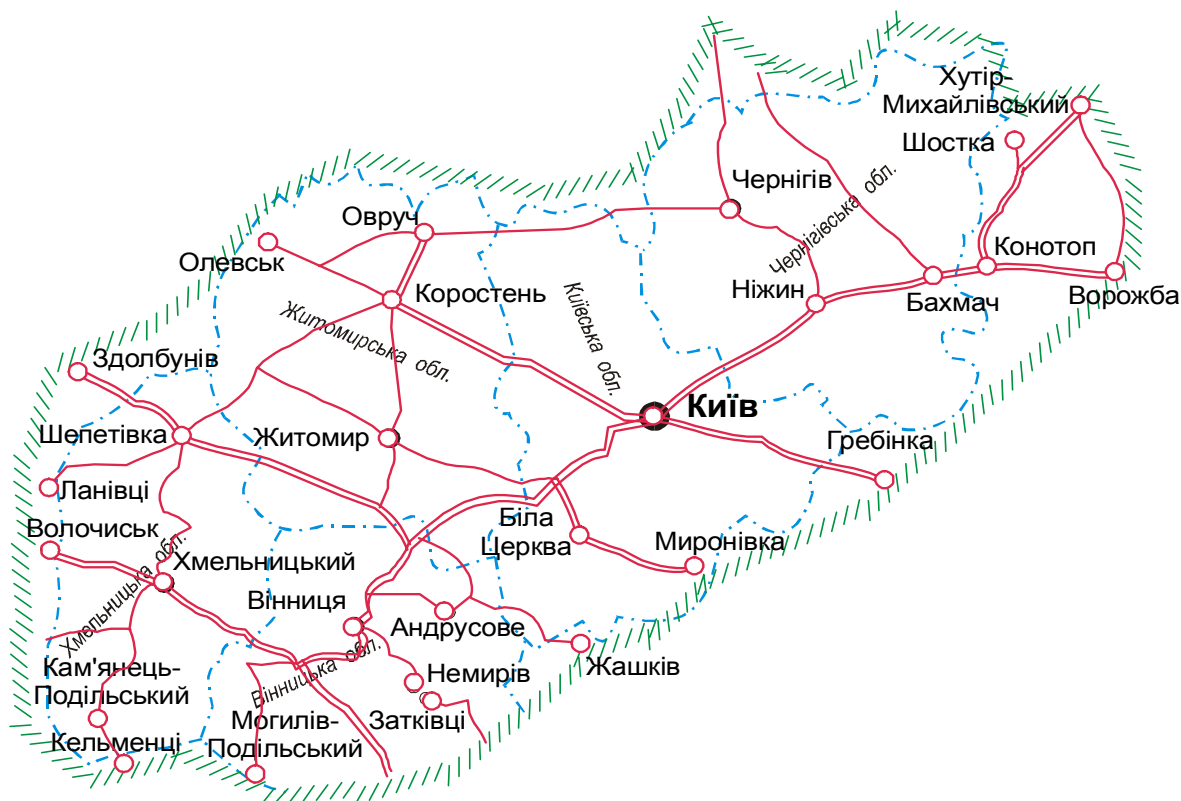


Рис. 1. Схема досліджуваного напрямку Київ–Ніжин–Конотоп–Хутір Михайлівський–Зернове

Задача оптимальної перебудови залізничної лінії для уведення швидкісного руху пасажирських поїздів відноситься до умовно-екстремальних задач. Для її вирішення використовують метод найкорішого спуску, метод динамічного програмування, метод невикористаних множників Лагранжа та ін.

Кожний з названих методів має як позитивні, так і негативні сторони, а отже, і визначену сферу застосування. У ДПТі, під керівництвом проф. Босова А. А. розроблені і успішно застосовуються різні підходи, в яких використовуються метод векторної оптимізації [4–7].

2. Постановка задачі і метод вирішення

2.1. Формалізація задачі оптимальної перебудови ділянки. Всю ділянку від Києва до Зернового розбиваємо на елементи, які позначаємо через ω_i , $i = \overline{1, n}$. Кожен елемент характеризуємо його довжиною, швидкістю, що допускається V_{0i} , $i = \overline{1, n}$, і швидкостями V_{1i} , V_{2i} , V_{3i} , що можуть бути прийняті при реконструкції елемента. Кожній швидкості зіставляємо витрати C_{1i} , C_{2i} , C_{3i} . Тоді, якщо на елементі ω_i виконуються роботи на суму C_{1i} , то після реконструкції припустима швидкість дорівнює V_{1i} , величина

$$\Delta t_{1i} = \frac{l_i}{V_{0i}} - \frac{l_i}{V_{1i}}$$

буде оцінкою зверху скорочення часу руху поїзда по цьому елементу.

Задача. Необхідно знайти залежність витрат для всього напрямку, як функцію скорочення часу руху поїзда, і раціональну послідовність виконання робіт з перебудови ділянки Київ–Зернове.

Введемо в розгляд список

$$\gamma = \{[\omega_1, j_1], [\omega_2, j_2], \dots, [\omega_n, j_n]\},$$

де пара $[\omega_i, j_i]$ означає, що на елементі ω_i виконується робота, що дозволяє встановити швидкість руху рівну V_{j_i} .

Тоді витрати, що відповідають списку γ будуть рівні

$$C(\gamma) = \sum_{i=1}^n C_{i j_i}, \quad (1)$$

а скорочення часу руху складе

$$\Delta t(\gamma) = \sum_{i=1}^n \Delta t_{i j_i}. \quad (2)$$

Бажання зробити витрати $C(\gamma)$ як можна меншими, а скорочення часу руху $\Delta t(\gamma)$ як

найбільше, приводить до наступної задачі векторної оптимізації:

$$\left(\begin{array}{c} C(\gamma) \\ -\Delta t(\gamma) \end{array} \right) \rightarrow \min \quad \text{при } \gamma \in \Gamma, \quad (3)$$

де Γ – набір усіляких робіт з реконструкції.

Помітимо, що в даній постановці роботи, які виконуються на елементі ω_i , не позначаються на роботі, які виконуються на інших елементах.

Для розв'язання задачі (3) скористаємося функцією Лагранжа

$$L(\gamma, \mu) = C(\gamma) - \mu \Delta t(\gamma),$$

максимізація якої дозволяє знайти список γ як функцію множника Лагранжа μ , ($\gamma = \gamma(\mu)$). Тим самим одержуємо можливість визначити витрати і скорочення часу руху як функції μ . Виключивши параметр μ , одержуємо залежність

$$C = C(\Delta t),$$

яку необхідно розуміти так, що при заданому скороченні часу руху Δt витрати $C(\Delta t)$ є максимальними.

2.2. Вихідна інформація для оптимізації.

Вихідна інформація напрямку Київ–Зернове наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Вартість реконструкції станцій і перегонів

№ з/п	Машинне позначення елемента	Елемент	Довжина елемента, км	Існуюча допустима швидкість, км/год	Варіанти швидкості		
					1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ω_1	ст. Дарниця	2,446	80	$\frac{100}{2600}$		
2	ω_2	Дарниця–Бровари	13,165	120	$\frac{140}{11965}$	$\frac{160}{1750}$	
3	ω_3	ст. Бровари	2,846	100	$\frac{120}{2615}$		
4	ω_4	Бровари–Бобрик	18,778	120	$\frac{140}{10440}$	$\frac{160}{32600}$	
5	ω_5	ст. Бобрик	2,434	100	$\frac{120}{2055}$	$\frac{140}{10065}$	
6	ω_6	Бобрик–Заворичі	6,032	120	$\frac{140}{2420}$	$\frac{160}{8720}$	
7	ω_7	Заворичі–Бобровиці	16,692	120	$\frac{140}{13470}$	$\frac{160}{35510}$	
8	ω_8	ст. Бобровиці	2,774	100	$\frac{120}{2785}$	$\frac{140}{9830}$	
9	ω_9	пер. Бобровиці–Кобижчі	11,435	120	$\frac{140}{8940}$	$\frac{160}{16146}$	
10	ω_{10}	ст. Кобижчі	2,090	100	$\frac{100}{225}$	$\frac{120}{16225}$	
11	ω_{11}	Кобижчі–Носівка	8,330	140	$\frac{140}{780}$	$\frac{160}{5780}$	
12	ω_{12}	ст. Носівка	1,949	100	$\frac{100}{280}$	$\frac{120}{2920}$	
13	ω_{13}	Носівка–Ніжин	20,289	120	$\frac{140}{14550}$	$\frac{160}{29520}$	
14	ω_{14}	ст. Ніжин	5,472	80	$\frac{100}{1930}$	$\frac{120}{4380}$	
15	ω_{15}	Ніжин–Крути	15,304	120	$\frac{140}{8300}$	$\frac{160}{19300}$	

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
16	ω_{16}	ст. Крути	2,115	80	<u>120</u> 2030	<u>140</u> 8345	<u>140</u> 10460
17	ω_{17}	пер. Крути–Пліски	19,090	120	<u>140</u> 9165	<u>160</u> 33065	
18	ω_{18}	ст. Пліски	1,957	100	<u>120</u> 3460	<u>140</u> 9500	
19	ω_{19}	Пліски–Черемушки	11,047	140	<u>140</u> 6595	<u>160</u> 6600	
20	ω_{20}	ст. Черемушки	1,686	100	<u>120</u> 2835	<u>140</u> 9260	
21	ω_{21}	пер. Черемушки–Бахмач-Київський	11,358	140	<u>140</u> 660	<u>160</u> 6600	
22	ω_{22}	ст. Бахмач-Київський	2,431	100	<u>100</u> 280	<u>120</u> 2060	
23	ω_{23}	Бахмач-Київський–Бахмач-Пасажирський	0,881	100	<u>100</u> 325		
24	ω_{24}	ст. Бахмач-Пасажирський	4,059	100	<u>100</u> 280	<u>120</u> 2350	
25	ω_{25}	Бахмач-Пасажирський–Халімонове	7,511	120	<u>140</u> 3910	<u>160</u> 10710	
26	ω_{26}	ст. Халімонове	3,034	80	<u>100</u>	<u>120</u> 2060	
27	ω_{27}	Халімонове–Конотоп	9,234	120	<u>140</u>	<u>160</u> 4180	
28	ω_{28}	ст. Конотоп	3,266	40	<u>60</u> 2695		
29	ω_{29}	Конотоп–Вирівка	3,612		<u>100</u> 1365		
30	ω_{30}	ст. Вирівка	1,836	80	<u>100</u> 2730		
31	ω_{31}	пер. Вирівка–Мельня	10,460	100	<u>120</u> 4930		
32	ω_{32}	ст. Мельня	1,904	100	<u>120</u> 2530		
33	ω_{33}	Мельня–Алтинівка	8,597	120	<u>140</u> 3835	<u>160</u> 9036	
34	ω_{34}	ст. Алтинівка	1,880	90	<u>100</u> 1395	<u>120</u> 4160	
35	ω_{35}	Алтинівка–Кролівець	13,545	120	<u>140</u> 5905	<u>160</u> 7935	
36	ω_{36}	ст. Кролівець	1,725	100	<u>100</u> 210	<u>120</u> 430	
37	ω_{37}	Кролівець–Блюловецький	10,033	120	<u>140</u> 4630	<u>160</u> 17100	
38	ω_{38}	ст. Блюловецький	2,039	100	<u>120</u> 2525		
39	ω_{39}	Блюловецький–Воронізька	12,065	120	<u>140</u> 5350		

Примітка: у стовпцях 6, 7, 8 таблиці записані дробі: у чисельнику – швидкість, км/год, у знаменнику – витрати в гривнях.

2.3. Коротка характеристика програмного продукту. Програма розрахунків написана з використанням системи Maple V – система символічних обчислень.

Алгоритм, реалізований з використанням Maple V, містить такі основні елементи.

1. Вводиться число елементів M ; вектор N , компоненти якого представляють число варіантів бажаної швидкості по елементах; Z – матриця витрат по варіантах робіт на елементах шляху; T – матриця скорочення часу по елементах шляху (рядок) і варіантам робіт;

2. Організується перебір із кроком $\Delta\mu$ множника Лагранжа і визначається список $\gamma(\mu)$;

3. Кожен список упорядковується з використанням витрат на одиницю часу;

4. Будується залежності $C[\gamma(\mu)]$ і $\Delta t[\gamma(\mu)]$;

5. Виключається параметр μ і будується залежність $C = C(\Delta t)$ у вигляді неперервної кривої;

6. Для кожного непорівнянного варіанта $\gamma(\mu)$ в координатах C і Δt у вигляді точок знаходиться залежність $C(\Delta t)$.

2.4. Результати техніко-економічних розрахунків. На рис. 2 наведені результати обчислень, що відображають витрати в грн і скорочення часу руху поїзда залежно від множника Лагранжа μ .

Номерам точок відповідають варіанти реконструкції. Після розрахунку по кожному варіанту наведено три числа: множник Лагранжа μ , витрати по даному варіанту в грн і скорочення часу руху в годинах.

Виключивши параметр μ , одержимо залежність витрат від скорочення часу руху (рис. 3).

На рис. 2 і 3 наведені результати для ухвалення рішення. Задача вирішується як у прямій постановці, тобто виділяються кошти і для них установлюються скорочення часу руху поїзда або маршрутна швидкість, а також конкретні об'єкти, що підлягають реконструкції (станції, перегони). Можна навпаки, для заданого скорочення часу руху (маршрутну швидкість) знайти об'єкти, що підлягають реконструкції, і потрібні капітальні вкладення.

Припустимо, людина, що приймає рішення, може виділити на реконструкцію напрямку близько 200 млн грн. По рис. 3 можна установити, що скорочення часу складе близько 28 хв (0,45...0,46 год). На цьому ж рисунку зазначено два можливих варіанти № 13 або 14. За даними табл. 1 знаходимо номери об'єктів, що підлягають реконструкції, а також варіант максимальної швидкості і послідовність виконання робіт. За цими даними складена табл. 2.

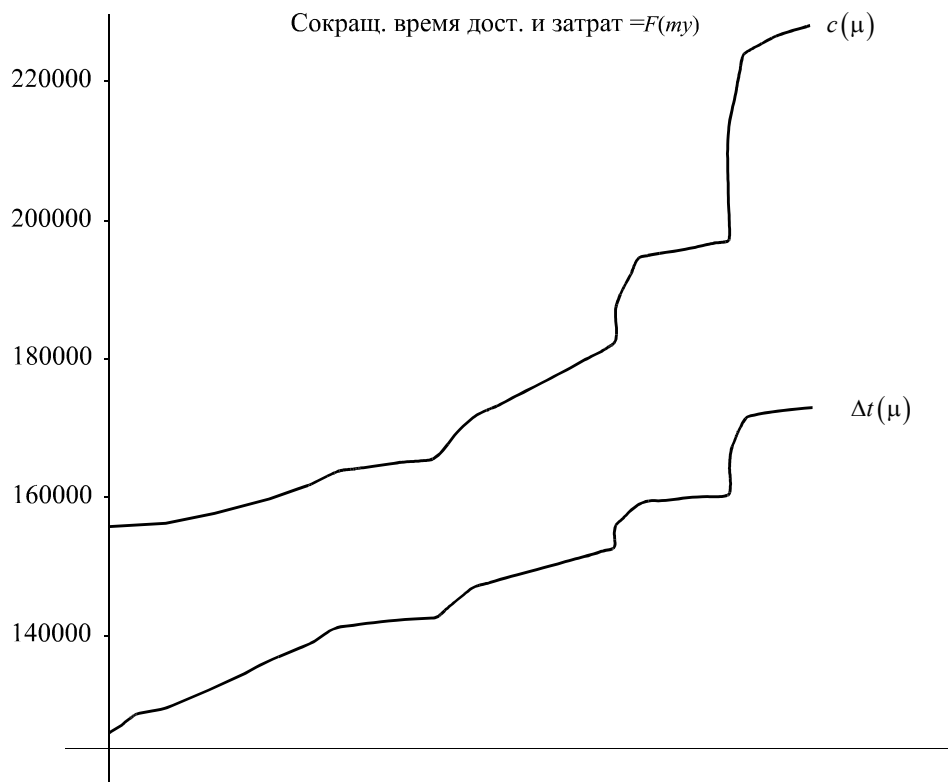


Рис. 2. Залежність витрат від скорочення часу руху

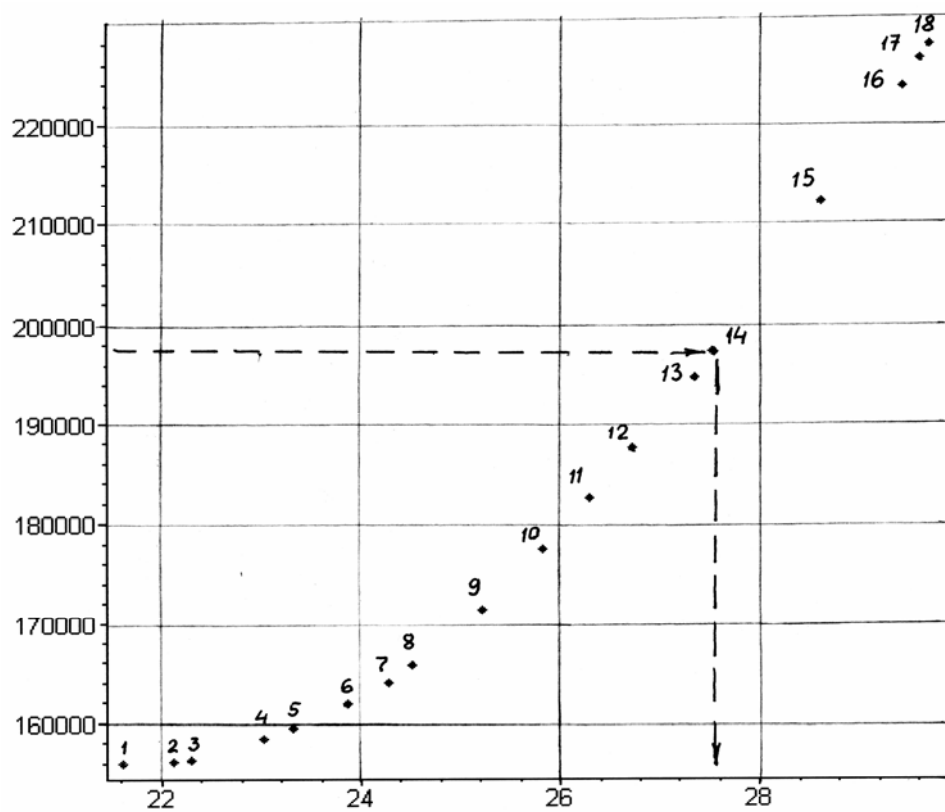


Рис. 3. Залежність витрат від скорочення часу руху

Таблиця 2

Номери об'єктів і послідовність виконання робіт з реконструкції

Номер	Позначення об'єкта	Назва об'єкта, який підлягає реконструкції	Номер варіанта і відповідний рівень максимальної швидкості	
1	2	3	4	5
1	w_{15}	Ніжин–Крути	1	140
2	w_{26}	ст. Халімонове	2	120
3	w_{22}	ст. Бахмач-Київський	1	100
4	w_{18}	ст. Пліски	1	120
5	w_{19}	Пліски–Черемушки	1	140
6	w_{10}	ст Кобижчі	1	100
7	w_{28}	ст. Конотоп	1	60
8	w_{28}	Бахмач-Пасажирський–Халімонове	1	140
9	w_{29}	Конотоп–Вирівка	2	100
10	w_{37}	Кролевець–Брюловецький	1	140
11	w_{32}	ст. Мельня	2	120
12	w_{34}	ст. Алтинівка	2	110
13	w_{24}	ст. Бахмач-Пасажирський	1	100
14	w_5	ст. Бобрик	2	140

1	2	3	4	5
15	w_{17}	Крути–Пліски	1	140
16	w_7	Заворичі–Бобровиці	1	140
17	w_{14}	ст. Ніжин	1	100
18	w_{36}	ст. Кролевець	1	100
19	w_{39}	Брюловець–Воронізька	1	140
20	w_{35}	Алтинівка–Кролевець	1	140
21	w_{27}	Халімонове–Конотоп	2	160
22	w_{20}	ст. Черемушки	2	140
23	w_{38}	ст. Брюловецький	1	120
24	w_{11}	Кобижчи–Носівка	2	160
25	w_{16}	ст. Крути	1	120
26	w_4	ст. Халімонове	2	120
27	w_6	Бобрик–Заворичи	2	160
28	w_1	ст. Дарниця	1	100
29	w_3	ст. Бровари	1	120
30	w_{23}	Бахмач–Київський–Бахмач–Пасажирський	1	100
31	w_9	Бобровиці–Кобижчі	1	140
32	w_{33}	Мельня–Алтинівка	1	140
33	w_{21}	Черемушки–Бахмач Київський	2	160
34	w_{30}	ст. Вирівка	1	100
35	w_8	ст. Бобровиці	2	140
36	w_2	Дарниця–Бровари	2	160
37	w_{13}	Носівка–Ніжин	1	140
38	w_{31}	Вирівка–Мельня	1	120
39	w_{12}	ст. Носівка	1	100

Для кожного об'єкту ω_i складені набори робіт (модернізація колії, штучних споруд, перебудова кривих, пасажирських платформ тощо) відповідно з вимогами до інфраструктури та рухомого складу [8].

Висновки

Швидкісний рух на міжнародних транспортних коридорах України рекомендується

впроваджувати поетапно. При вирішенні цієї проблеми доцільно виходити з оптимізації часу доставки вантажів і пасажирів, а не швидкості руху, оскільки кінцевий результат перевезень визначається не максимальною, а маршрутною швидкістю.

Як показали розрахунки, на ділянці Київ–Зернове, де планується організація швидкісного руху, необхідно в першу чергу підвищувати не максимальні, а мінімальні швидкості, тому що

у зоні низьких рівнів швидкостей досягається найбільший ефект щодо скорочення часу руху.

Установлені за результатами розрахунків максимальні швидкості можуть бути досягнуті після проведення модернізації колії, заміни стрілочних переводів, а також після перебудови деяких кривих, що є бар'єрними місцями на перегонах.

При максимальній швидкості по станціях і перегонах 140 км/год і перебудові відповідних кривих скорочення часу складе 40 хв в кожному напрямку при ходовій швидкості 131 км/год. Це забезпечить у порівнянні з варіантом 120 км/год по станціях скорочення часу руху на напрямку Київ–Зернове додатково на 10 хв.

При забезпеченні на наступному етапі швидкості по станціях 140 км/год і на перегонах 160 км/год скорочення часу складе 47 хв у кожному напрямку і забезпечить середню ходову швидкість біля 150 км/год.

Максимальну швидкість 160 км/год на ухилах, крутизна яких не перевищує 7 ‰ для ЧС8 і 10 ‰ – для 2ДС3 для маси пасажирського поїзда 1000 т (18 вагонів). За такої крутизни уклонів для організації руху поїздів зі швидкістю до 200 км/год треба зменшити масу поїзда до 700...600 т.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Програма створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні / Постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.98 № 346.
2. О результатах разработок предложений по созданию скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий в странах-членах ОСЖД // Бюл. ОСЖД. 2000. – № 3. – С. 9–13.
3. Концепції державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005–2015 р.р. – К., 2004. – 43 с. (проект).
4. Босов А. А. Вирішення задачі оптимальної перебудови ділянки для організації швидкісного руху поїздів / А. А. Босов, И. П. Корженевич, М. Б. Курган, Д. Н. Курган // Транспорт: 36. наук. пр. ДПТУ. – Д., 2002. – Вип. 12. – С. 43–49.
5. 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.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – Вип. 1. – С. 66–73.
6. Раціоналізація перебудови кривих в плані при підвищенні швидкостей руху поїздів / В. В. Рибкін, М. Б. Курган, Д. М. Курган, В. І. Харлан // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – Вип. 2. – С. 120–126.
7. Босов А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн.-дор. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2004. – 140 с.
8. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. ВНД 32.1.07.000-02. Укрзалізниця. К. – 51 с.

Надійшла до редколегії 10.08.2004.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ ОПТИМИЗАЦИИ ЛАГРАНЖА

Задачі реконструкції транспортних засобів сформульовані як задачі векторної оптимізації. Запропонована методика побудови трьох розв'язків задач на умовний екстремум з використанням технологіко-економічної карти. Розв'язок, отриманий за допомогою функції Лагранжа, є випуклою комбінацією для точок точного розв'язку.

Задачи реконструкции транспортных средств сформулированы как задачи векторной оптимизации. Предложена методика построения трех решений задач на условный экстремум с использованием технологическо-экономической карты. Решение, полученное с помощью функции Лагранжа, является выпуклой комбинацией для точек точного решения.

The tasks of reconstruction of vehicles are formulated as the problems of vector optimization. The authors have proposed a method of constructing the three solution of conventional extremum tasks with the use of technological & economic card. The solution, obtained with the use of Lagrange function, is a prominent combination for the points of precise solution.

В данной работе рассматривается задача векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} z(\gamma) \\ -\tau(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условии, что

$$\gamma \in \Gamma. \quad (2)$$

В инженерной интерпретации γ – перечень работ (мероприятий) по реконструкции пути и подвижного состава железнодорожного направления, по которому желаем ускорить доставку грузов и пассажиров. Данному перечню работ γ соответствуют затраты средств $z(\gamma)$ и сокращение времени доставки $\tau(\gamma)$. Относительно множества Γ предполагаем, что оно дискретно и конечно. С математической точки зрения γ – селектор многозначного отображения

$$\Gamma(\omega): \Omega \rightarrow A,$$

где a – множество мероприятий, которые могут быть использованы, например, при реконструкции пути; Ω – перечень элементов ω , из которых состоит путь.

Решением задачи векторной оптимизации (1)–(2) является множество $\Gamma_* \subseteq \Gamma$, элементы которого образуют наборы γ_* между собой несравнимые.

Не ограничивая общности рассмотрения, считаем, что $\gamma_* \in \Gamma_*$ пронумерованы так, что имеет место

$$\begin{bmatrix} z(\gamma_i) < z(\gamma_{i+1}) \\ \tau(\gamma_i) < \tau(\gamma_{i+1}) \end{bmatrix}, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где n – число вариантов γ_* в множестве Γ_* .

Если исходное множество Γ содержит незначительное количество вариантов γ , то построение множества Γ_* можно выполнять непосредственным перебором, используя правило отбора (критерий) (3).

Однако при решении реальных задач по реконструкции транспортных средств применение непосредственного перебора является неэффективным с точки зрения затрат времени на получение решения исходной задачи (1)–(2).

Поэтому с задачей (1)–(2) связывают задачу на условный экстремум

$$z(\gamma) \rightarrow \min \quad (4)$$

при условии, что

$$\tau(\gamma) \geq \tau_*, \quad \gamma \in \Gamma, \quad (5)$$

решение которой определяют по методу Лагранжа, сводя задачу (4)–(5) к задаче минимизации функции Лагранжа [1]

$$L(\gamma, \mu) = z(\gamma) - \mu \tau(\gamma), \quad \gamma \in \Gamma,$$

где μ – неопределенный множитель Лагранжа, такой, что $\mu \geq 0$.

Обозначим через $\gamma(\mu)$ решение задачи

$$L(\gamma, \mu) \rightarrow \min, \quad \gamma \in \Gamma.$$

Неопределенный множитель Лагранжа традиционно определяется из неравенства $\tau[\gamma(\mu)] \geq \tau_*$. Мы же поступим иначе. Сформируем множество

$$\tilde{\Gamma}_* = \left\{ \gamma(\mu) : \mu \geq 0, L[\gamma(\mu), \mu] = \min_{\gamma \in \Gamma} L(\gamma, \mu) \right\}. \quad (6)$$

Теорема. Множество $\tilde{\Gamma}_*$ является выпуклой комбинацией множества Γ_* .

Утверждение этой теоремы необходимо понимать в том смысле, что если элементам из $\tilde{\Gamma}_*$ и Γ_* поставить в соответствие точки на плоскости (z, τ) , то точки, соответствующие множеству $\tilde{\Gamma}_*$, образуют выпуклую комбинацию точек (z, τ) , соответствующих $\gamma_* \in \Gamma_*$.

Доказательство теоремы будем проводить в предположении, что

$$z(\gamma) \geq 0, \quad \tau(\gamma) \geq 0 \quad \text{при} \quad \gamma \in \Gamma. \quad (7)$$

Если это условие не выполняется, то введя разности

$$z(\gamma) - \min_{\gamma \in \Gamma} z(\gamma);$$

$$\tau(\gamma) - \min_{\gamma \in \Gamma} \tau(\gamma),$$

приходим к соотношениям (7) для данных разностей.

На плоскости с координатами L и μ функция Лагранжа при $\gamma \in \Gamma$ как функция μ представляет собой прямую, причем этих прямых конечное количество в силу конечности множества Γ . Если в функцию Лагранжа вместо γ поставить $\gamma(\mu)$, то получим кусочно-линейную кривую, которая является огибающей снизу указанных прямых.

Пусть $\mu_1 < \mu_2 < \dots < \mu_m$ представляют собой точки излома огибающей, тогда $\gamma(\mu_1)$, $\gamma(\mu_2), \dots, \gamma(\mu_m)$ представляют содержание множества Γ_* , а пары точек

$$z_i = z[\gamma(\mu_i)]; \quad (8)$$

$$\tau_i = \tau[\gamma(\mu_i)], \quad i = \overline{1, m}$$

будут отображением множества $\tilde{\Gamma}_*$ на плоскость функционалов (z, τ) .

Возьмем какие-либо три точки (z_i, τ_i) , (z_{i+1}, τ_{i+1}) , (z_{i+2}, τ_{i+2}) , тогда из свойства огибающей имеем:

$$z_i - \mu_{i+1}\tau_i = z_{i+1} - \mu_{i+1}\tau_{i+1};$$

$$z_{i+1} - \mu_{i+2}\tau_{i+1} = z_{i+2} - \mu_{i+2}\tau_{i+2}.$$

Откуда в силу того, что $\mu_{i+1} < \mu_{i+2}$ получаем

$$\frac{z_{i+1} - z_i}{\tau_{i+1} - \tau_i} < \frac{z_{i+2} - z_{i+1}}{\tau_{i+2} - \tau_{i+1}},$$

что эквивалентно неравенству

$$z_{i+1} < \frac{z_{i+2} - z_i}{\tau_{i+2} - \tau_i} (\tau_{i+1} - \tau_i) + z_i,$$

которое означает, что ломаная, проходящая через точки (8), является выпуклой.

Рассмотрим $\mu \in (\mu_i, \mu_{i+1})$. Откуда получаем

$$z_i - \mu\tau_i < z_{i+1} - \mu\tau_{i+1}$$

или

$$\mu(\tau_{i+1} - \tau_i) < z_{i+1} - z_i. \quad (9)$$

Если $\mu = \mu_{i+1}$, то неравенство (9) переходит в равенство

$$\mu_{i+1}(\tau_{i+1} - \tau_i) = z_{i+1} - z_i,$$

что следует из свойства огибающей.

Пусть $\varepsilon > 0$ таково, что $\mu_1 < \mu_2 - \varepsilon$, тогда из неравенства (9) получаем

$$-\varepsilon(\tau_{i+1} - \tau_i) < 0,$$

что имеет место, если $\tau_{i+1} > \tau_i$, но тогда из (9) следует $z_{i+1} > z_i$. Таким образом, точки из последовательности (8) удовлетворяют соотношению

$$\left(\begin{array}{l} z_i < z_{i+1} \\ \tau_i < \tau_{i+1} \end{array} \right), i = \overline{1, m},$$

а в силу критерия (3) они образуют несравнимые варианты, что и доказывает теорему.

Доказанная теорема может быть обобщена для случая, когда множество Γ является континуумом. Чтобы не загромождать исследования, будем рассматривать случай, когда Γ является отрезком действительной оси $\Gamma = \{x : a \leq x \leq b\}$, а $z(x)$ и $\tau(x)$ определены и непрерывны вместе со своими первыми производными по x при $x \in \Gamma$.

Задача векторной оптимизации имеет вид

$$\begin{bmatrix} z(x) \\ -\tau(x) \end{bmatrix} \rightarrow \min$$

при условии $x \in \Gamma$.

В предположении существования ее решения $\Gamma_* \subseteq \Gamma$ имеем, что $\forall x_* \in \Gamma_*$ является эффективным, т. е. любая вариация x_* приводит к увеличению $z(x_*)$ или уменьшению $\tau(x_*)$.

Функция Лагранжа принимает вид

$$L(x, \mu) = z(x) - \mu \tau(x),$$

минимум которой достигается при $x = x(\mu) \in \Gamma$.
Существование $x(\mu)$ следует из теоремы Вейерштрасса [1].

Из необходимого условия минимума $L(x, \mu)$ следует

$$\left(\frac{dz}{dx} - \mu \frac{d\tau}{dx} \right) \Big|_{x=x(\mu)} = 0.$$

Откуда, если

$$\frac{d\tau}{dx} \Big|_{x=x(\mu)} \neq 0,$$

получаем

$$\frac{dz}{dx} \Big|_{x=x(\mu)} = \mu.$$

И так как $\mu \geq 0$, то кривая $z = z(\tau)$ или в параметрической форме

$$\tilde{P}_* = \begin{cases} z = z[x(\mu)], \\ \tau = \tau[x(\mu)], \mu \geq 0 \end{cases}$$

является возрастающей и выпуклой кривой. Если построить кривую

$$P_* = \{(z, \tau) : z = z(x_*), \tau = \tau(x_*), x_* \in \Gamma_*\},$$

то имеем $\tilde{P}_* \subseteq P_*$, что и является вариантом доказанной теоремы в континуальном случае. Не останавливаясь на случае, когда z и τ полунепрерывны снизу функции, перейдем к рассмотрению ситуации, когда они являются функциями множества.

Определенности ради будем рассматривать пространство с мерой

$$\langle \Omega, \mathbf{A}(\Omega), \lambda(\cdot) \rangle,$$

где $\mathbf{A}(\Omega)$ – алгебра, элементы которой являются подмножествами множества Ω . На элементах из $\mathbf{A}(\Omega)$ определена и конечна мера $\lambda(\cdot)$. Относительно меры $\lambda(\cdot)$ предполагаем, что она однородна и аддитивна. Относительно z и τ предполагаем, что они определены и конечны на элементах из $\mathbf{A}(\Omega)$, причем удовлетворяют условиям:

1. $\tau(\emptyset) = z(\emptyset) = 0$;
2. $\forall E \in \mathbf{A}(\Omega)$,

имеем $z(E) > 0$; $\tau(E) > 0$ если $E \neq \emptyset$.

Задачу векторной оптимизации формально можно записать в виде

$$\begin{pmatrix} z(E) \\ -\tau(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (10)$$

при условии $E \in \mathbf{A}(\Omega)$.

Пусть $\omega \in E$ и B_n , $n=1, 2, \dots$ последовательность множеств из $\mathbf{A}(\Omega)$, которая имеет своим пределом одноточечное множество $\{\omega\}$. Считаем, что существуют внутренние производные от $z(E)$ и $\tau(E)$ ω в точке на последовательности $\{B_n\}$. [2]

С задачей (10) связываем задачу на условный экстремум

$$z(E) \rightarrow \min \quad (11)$$

при условии

$$\tau(E) \geq \tau_*, E \in \mathbf{A}(\Omega).$$

Вводим функцию Лагранжа

$$L(E, \mu) = z(E) - \mu \tau(E), \quad \mu \geq 0.$$

Пусть $E_*(\mu)$ такое подмножество множества Ω из $\mathbf{A}(\Omega)$, при котором функция Лагранжа принимает минимальное значение, а набор $\tilde{\varepsilon}_* = \{E_*(\mu) : \mu \geq 0\}$ – множество решений задачи (11) при различных τ_* или $\mu \geq 0$.

Если ε_* – решение задачи векторной оптимизации, то в данных обозначениях рассмотренная теорема принимает вид $\tilde{\varepsilon}_* \subseteq \varepsilon_*$.

Что касается отображений множеств ε_* и $\tilde{\varepsilon}_*$ на плоскость функционалов (z, τ) , то отображение множества $\tilde{\varepsilon}_*$ является выпуклой комбинацией для точек отображения множества ε_* .

Доказательство этих фактов выполним для случая, когда множество Ω является конечным дискретным, а $\mathbf{A}(\Omega)$ всевозможные подмножества множества Ω .

Если $E_*(\mu)$ при фиксированном μ доставляет минимум функции Лагранжа $L(E, \mu)$, то имеет место

$$L(E, \mu) - L[E_*(\mu), \mu] \geq 0.$$

Выбирая множество E в виде

$$E = E_*(\mu) \Delta B_n,$$

где Δ – операция симметрической разности двух множеств, получаем

$$DL \equiv L[E_*(\mu) \Delta B_n, \mu] - L[E_*(\mu), \mu] \geq 0,$$

а изменение меры будет

$$D\lambda \equiv \lambda[E_*(\mu) \Delta B_n] - \lambda[E_*(\mu)] = -\lambda(B_n).$$

Отношение полученных разностей удовлетворяет неравенству

$$\left. \frac{DL}{D\lambda} \right|_{B_n} \leq 0.$$

Устремляя $n \rightarrow \infty$, получаем

$$\left. \frac{dL}{d\lambda} \right|_{\{B_n\} \rightarrow \{\omega\}} = \left(\frac{dz}{d\lambda} - \mu \frac{d\tau}{d\lambda} \right) \Big|_{\{B_n\} \rightarrow \{\omega\}} \leq 0. \quad (12)$$

Относительно выбора меры $\lambda(\cdot)$ предполагаем, что она однородная и аддитивная функция множества. Чтобы воспользоваться неравенством (12), на меру $\lambda(\cdot)$ накладываем условие:

1. Если E содержит изолированные точки ω' , то

$$\lambda(E) = \lambda_L(E) + \sum_{\omega' \in E} H(\omega'),$$

где $\lambda_L(E)$ Лебегова мера множества E .

2. $H(\omega') = 1, \forall \omega' \in E$.

При этих предположениях неравенство (12) принимает вид

$$z[E_*(\mu) \setminus \{\omega\}] - z[E_*(\mu)] - \mu \{ \tau[E_*(\mu) \setminus \{\omega\}] - \tau[E_*(\mu)] \} \geq 0. \quad (13)$$

Далее считаем, что функции множества $z(E)$ и $\tau(E)$ имеют вид

$$\begin{cases} z(E) = \sum_{\omega \in E} z(\{\omega\}), \\ \tau(E) = \sum_{\omega \in E} \tau(\{\omega\}). \end{cases} \quad (14)$$

При таком представлении неравенство (13) будет следующим:

$$-z(\{\omega\}) + \mu \tau(\{\omega\}) \geq 0,$$

что с необходимостью позволяет сформировать множество

$$E_*(\mu) = \{ \omega \in \Omega : z(\{\omega\}) - \mu \tau(\{\omega\}) \leq 0 \}, \quad (15)$$

тогда

$$L[E_*(\mu)] = z[E_*(\mu)] - \mu \tau[E_*(\mu)] \leq 0,$$

а так как

$$L(E, \mu) \geq L[E_*(\mu), \mu],$$

то на плоскости с координатами (L, μ) ломаная

$$L = z[E_*(\mu)] - \mu \tau[E_*(\mu), \mu]$$

является огибающей снизу прямых

$$L = z(E) - \mu \tau(E), \quad E \in \mathbf{A}(\Omega).$$

Заметим, что в силу дискретности и конечности множества Ω следует конечность и дискретность $\mathbf{A}(\Omega)$ и, если пронумеровать элементы из $\mathbf{A}(\Omega)$, то получаем последовательность пар

$$\begin{cases} z_i = z(E_i), \\ \tau_i = \tau(E_i), i = \overline{1, n}, \end{cases}$$

где n – число элементов множества $\mathbf{A}(\Omega)$.

Данное замечание сводится к рассматриваемому случаю, для которого доказывалась теорема. Более того, представление (14) не обязательно при доказательстве отношения $\tilde{\varepsilon}_* \subseteq \varepsilon_*$.

Представление (14) позволяет конструктивно строить множество $E_*(\mu)$ и использовать его, если имеет место

$$z(E) \leq \sum_{\omega \in E} z(\{\omega\}); \quad (16)$$

$$\tau(E) \geq \sum_{\omega \in E} \tau(\{\omega\}). \quad (17)$$

Неравенство (16) имеет место, когда некоторые элементы из E имеют общие операции в соответствии с технологическо-экономической картой (ТЭК) реконструкции того или иного объекта (перегона, станции и т. д.) [3]

Что касается неравенства (17), то с ним впервые встретились при выполнении тяговых расчетов [4]. Действительно, если ω_1 и ω_2 – два элемента на перегоне, которые подвергаются реконструкции, то выполнив реконструкцию элемента ω_1 , получим время движения поезда t_1 , которое меньше чем t_0 – время движения поезда до реконструкции и сокращение времени движения будет $\tau_1 = t_0 - t_1$.

Аналогично получаем и для элемента ω_2 : $\tau_2 = t_0 - t_2$.

Если же выполнены реконструкции обоих элементов, то сокращение времени хода составит $\tau_{12} = t_0 - t_{12}$.

В общем случае имеет место $\tau_{12} \geq \tau_1 + \tau_2$. Равенство достигается в том случае, когда расстояние между элементами больше расстояния, на котором реализуется переход поезда с одной скорости движения на другую.

В математической литературе [5] функции типа $z(E)$ известны как полуаддитивные функции множества. Чтобы различать ситуации (16) и (17) предлагается функции типа $z(E)$ называть полуаддитивными сверху, а функции типа $\tau(E)$ – полуаддитивными снизу.

Взяв в качестве

$$\tilde{z}(E) = \sum_{\omega \in E} z(\{\omega\});$$

$$\tilde{\tau}(E) = \sum_{\omega \in E} \tau(\{\omega\})$$

и решив задачу

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}(E) \\ -\tilde{\tau}(E) \end{bmatrix} \rightarrow \min \quad (18)$$

при $E \in \mathbf{A}(\Omega)$, получаем решение, которое гарантирует, что затраты будут не более, а время сокращения хода поезда не менее, чем для вариантов решения задачи (18).

Если $\underline{z}(E)$ – аддитивная функция, но такая, что выполняется неравенство

$$\underline{z}(E) \leq z(E), \quad \forall E \in \mathbf{A}(\Omega),$$

то рассмотрение задачи

$$\begin{bmatrix} \underline{z}(E) \\ -\tilde{\tau}(E) \end{bmatrix} \rightarrow \min \quad (19)$$

при условии $\forall E \in \mathbf{A}(\Omega)$, позволяет построить решение, дающее оценку затрат снизу. Тем самым задачи (18) и (19) приводят к оценке решения исходной задачи (10) снизу и сверху по затратам средств с гарантированной оценкой снизу по сокращению времени хода поезда.

В общем случае построение аддитивных функций множества $\underline{z}(E)$ и $\tilde{z}(E)$ выходит за рамки данной работы. Ограничимся ситуацией, когда для реконструкции объекта, состоящего из элементов $\omega_i \in \Omega$, необходимо выполнение работы $A_j \in \mathcal{A}$ – перечень работ при заданной организации и технологии реконструкции. Пусть c_j – затраты средств при выполнении

работы $A_j, j = \overline{1, N}$. Работа A_j может понадобиться нескольким элементам из Ω , что будем отражать в виде матрицы T , элементы которой представляют собой

$$T_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } A_j \text{ необходима для } \omega_i, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Точная формула для вычисления $z(E)$ будет следующей:

$$z(E) = \sum_{j=1}^N c_j \sigma \left(\sum_{\omega_i \in E} T_{ij} \right),$$

где

$$\sigma(x) = \begin{cases} 1, & x > 0; \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Положив

$$\bar{z}(\{\omega_i\}) = \sum_{j=1}^N c_j T_{ij}, \quad (20)$$

получим

$$z(E) \leq \sum_{\omega_i \in E} \bar{z}(\{\omega_i\}).$$

Для получения аддитивной оценки снизу принимаем

$$\underline{z}(\{\omega_i\}) = \sum_{j=1}^N \frac{c_j}{\sum_{\omega_i \in \Omega} T_{ij}} T_{ij} = \sum_{j=1}^N c_j T_{ij}, \quad (21)$$

что приводит к неравенству

$$\sum_{\omega_i \in E} \underline{z}(\{\omega_i\}) \leq z(E),$$

а равенство достигается только тогда, когда множество E содержит все элементы, для реконструкции которых и только их необходим перечень работ $\tilde{\mathcal{A}} \subseteq \mathcal{A}$, а для $\omega_i \in \Omega \setminus E$ работы из перечня не используются.

Рассмотрим числовой пример, исходная информация которого дана в табл. 1, представляет собой ТЭК для объекта, состоящего из семи элементов $\omega_i, i = \overline{1, 7}$. Реконструкция этого объекта предусматривает выполнение двадцати работ $A_j, j = \overline{1, 20}$. Строчка c_j – в табл. 1 рассчитана по формуле

$$c_j = \frac{c_j}{\sum_{i=1}^7 T_{ij}},$$

а столбцы $\underline{z}(\omega_i)$ и $\bar{z}(\omega_i)$ определены по формулам (21) и (20) соответственно.

Таблица 1

ω_i A_i	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{20}	φ	$\bar{z}(\omega_i)$	$\tau(\omega_i)$
ω_1	1		1	1	1										1	1	1		1	1	4,7931	14,1	7,0
ω_2	1	1	1			1						1			1	1		1	1	1	7,3231	21,0	11,0
ω_3	1		1	1			1					1			1	1	1		1	1	8,0831	21,6	12,0
ω_4	1	1		1				1					1			1		1		1	7,6131	16,6	7,8
ω_5	1	1	1	1					1			1	1			1	1			1	8,8831	20,5	9,5
ω_6	1		1							1		1	1	1		1		1	1	1	10,7731	24,3	15,0
ω_7	1	1		1							1			1			1	1	1	1	9,1314	20,0	9,0
c_i	0,5000	1,20	1,60	1,30	2,1	3,3	4,2	4,9	5,4	6,3	5,5	2,20	1,7000	1,50	1,7000	3,20	2,700	3,100	3,5	0,7			
$\sum_i T_{ij}$	7,0000	4,00	5,00	5,00	1,0	1,0	1,0	1	1,0	1,0	1,0	4,00	3,0000	2,00	3,0000	5,00	4,000	4,000	5,0	7,0			
ω_i	0,0714	0,30	0,32	0,26	2,1	3,3	4,2	4,9	5,4	6,3	5,5	0,55	0,5667	0,75	0,5667	0,64	0,675	0,775	0,7	0,1			

Возьмем множество E , состоящее из элементов $E = \{\omega_1, \omega_5, \omega_7\}$, и вычислим точное значение затрат на реконструкцию этих элементов.

$$z(E) = 0,5 + 1,2 + 1,6 + 1,3 + 2,1 + 5,4 + 5,5 + 2,2 + 1,7 + 1,5 + 1,7 + 3,2 + 2,7 + 3,1 + 3,5 + 0,7 = 37,9.$$

Оценка этих затрат снизу составит

$$\begin{aligned} \underline{z}(E) &= \underline{z}(\omega_1) + \underline{z}(\omega_5) + \underline{z}(\omega_7) = \\ &= 4,7931 + 8,8831 + 9,1314 = 22,8076. \end{aligned}$$

Оценка $z(E)$ сверху будет равна

$$\begin{aligned} \tilde{z}(E) &= \tilde{z}(\omega_1) + \tilde{z}(\omega_5) + \tilde{z}(\omega_7) = \\ &= 14,1 + 20,5 + 20,0 = 54,6. \end{aligned}$$

Для данного множества среднее значение

$$\frac{\underline{z}(E) + \tilde{z}(E)}{2} = 38,7038,$$

что достаточно близко к точному значению $z(E) = 37,9$. Погрешность составляет 2,1 %.

Выполним решение задачи векторной оптимизации, когда в качестве затрат принимается их оценка снизу, т. е. рассматривается задача

$$\begin{bmatrix} \underline{z}(x) \\ -\tau(x) \end{bmatrix} \rightarrow \min, \quad (22)$$

где

$$\underline{z}(E) = \sum_{\omega_i \in E} \underline{z}(\omega_i);$$

$$\tau(E) = \sum_{\omega_i \in E} \tau(\omega_i).$$

В соответствии с формулой (15) формируем множества

$$E_*(\mu) = \{\omega \in \Omega : \underline{z}(\omega) - \mu\tau(\omega) \leq 0\}, \quad \mu \geq 0.$$

При формировании множества $E_*(\mu)$ предельно для каждого ω_i определяем μ_i , при котором реализуется равенство

$$\underline{z}(\omega_i) - \mu_i\tau(\omega_i) = 0.$$

В данном примере получаем:

$$\omega_1 : \mu_1 = \frac{4,7931}{7} = 0,6842;$$

$$\omega_2 : \mu_2 = \frac{7,3231}{11} = 0,6657;$$

$$\omega_3 : \mu_3 = \frac{8,0831}{12} = 0,6842;$$

$$\omega_4 : \mu_4 = \frac{\underline{z}(\omega_4)}{\tau(\omega_4)} = 0,9760;$$

$$\omega_5 : \mu_5 = \frac{\underline{z}(\omega_5)}{\tau(\omega_5)} = 0,9351;$$

$$\omega_6 : \mu_6 = \frac{\underline{z}(\omega_6)}{\tau(\omega_6)} = 0,7182;$$

$$\omega_7 : \mu_7 = \frac{\underline{z}(\omega_7)}{\tau(\omega_7)} = 1,0146.$$

Полученные значения μ упорядочиваем по возрастанию и формируем множества $E_*(\mu)$, а результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2

μ	$E_*(\mu)$	$\underline{z}[E_*(\mu)]$	$\tau[E_*(\mu)]$	$z[E_*(\mu)]$
$0 \leq \mu < 0,6657$	$\emptyset$	0,0000	0,0	0,0
$0,6657 \leq \mu < 0,6736$	ω_2	7,3231	11,0	21,0
$0,6736 \leq \mu < 0,6842$	ω_2, ω_3	15,4062	23,0	29,2
$0,6842 \leq \mu < 0,7182$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3$	20,1997	30,0	31,3
$0,7182 \leq \mu < 0,9351$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_6$	30,9724	45,0	40,8
$0,9351 \leq \mu < 0,9760$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6$	39,8555	54,5	46,2
$0,9760 \leq \mu < 1,0146$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$	47,4686	62,3	51,1
$1,0146 \leq \mu$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7$	56,6000	71,3	56,6

Аналогичным образом строим решение задачи

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}(E) \\ -\tau(E) \end{bmatrix} \rightarrow \min, \quad (23)$$

где

$$\tilde{z}(E) = \sum_{\omega_i \in E} \bar{z}(\omega_i),$$

а показатель $\tau(E)$ вычисляется по такой же формуле, как и в задаче (22).

Значения μ в задаче (23) следующие:

$$\mu_1 = 2,0143; \quad \mu_2 = 1,09091;$$

$$\mu_3 = 1,8; \quad \mu_4 = 2,1282;$$

$$\mu_5 = 2,1579; \quad \mu_6 = 1,62; \quad \mu_7 = 2,(2).$$

Используя формулу (15), решение задачи (23) по методу Лагранжа формируем в виде

$$\tilde{E}_*(\mu) = \{\omega \in \Omega : \bar{z}(\omega) - \mu\tau(\omega) \leq 0\}, \mu \geq 0.$$

Результаты сводим в табл. 3.

Таблица 3

μ	$E_*(\mu)$	$\tilde{z}[E_*(\mu)]$	$\tau[E_*(\mu)]$	$z[E_*(\mu)]$
$0 \leq \mu < 1,62$	$\emptyset$	0,0	0,0	0,0
$1,62 \leq \mu < 1,8$	ω_6	24,3	15,0	24,3
$1,8 \leq \mu < 1,9091$	ω_3, ω_6	45,9	27,0	34,2
$1,9091 \leq \mu < 2,0143$	$\omega_2, \omega_3, \omega_6$	66,9	38,0	38,7
$2,0143 \leq \mu < 2,1282$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_6$	81,0	45,0	40,8
$2,1282 \leq \mu < 2,1579$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$	97,6	52,8	45,7
$2,1579 \leq \mu < 2,(2)$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$	118,1	62,3	51,1
$2,(2) \leq \mu$	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7$	138,1	71,3	56,6

Анализируя результаты табл. 2 и табл. 3 на предмет несравнимых вариантов по точному подсчету затрат $z(E)$ и времени сокращения хода поезда, получаем десять несравнимых вариантов, приведенных в табл. 4.

Символом E_L отмечаем множества, полученные с использованием функции Лагранжа в задачах (22) и (23).

Теперь воспользуемся производной от функции множества по мере, и принимая во внимание необходимое условие (12), определим несравнимые варианты.

Исходить будем из варианта, который принадлежит решению задачи (10). Очевидно, что таким вариантом является само множество Ω . Затем находим такое $\omega_* \in \Omega$, что имеет место

$$\left(\frac{dz}{d\lambda} \Big|_{\omega_*} \right) / \left(\frac{d\tau}{d\lambda} \Big|_{\omega_*} \right) = \max_{\omega \in \Omega} \left(\frac{dz}{d\lambda} \Big|_{\omega} \right) / \left(\frac{d\tau}{d\lambda} \Big|_{\omega} \right) \quad (24)$$

и тогда множество $\Omega \setminus \{\omega_*\}$ будет эффективным.

В нашем случае реализация соотношения (24) осуществляется при $\omega_* = \omega_4$.

Таким образом, множество

$$E = \Omega \setminus \{\omega_n\} = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7\}$$

доставляет значение затрат

$$z(E) = 51,7 \quad \text{и} \quad \tau(E) = 63,5.$$

Далее с множеством E поступаем аналогично и находим ω_* , который в силу (24) надо удалить из E и т. д. Результаты данной процедуры сводим в табл. 5. Сравнивая с результатами, представленными в табл. 4, заключаем, что множество, состоящее из элемента ω_6 , должно быть исключено из перечня эффективных, так как множество ω_1, ω_3 из табл. 5 дает меньшие затраты средств и большее значение τ .

Таблица 4

E_L	$z(E_L)$	$\tau(E_L)$
ω_2	21,0	11,0
ω_6	24,3	15,0
ω_2, ω_3	29,2	23,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3$	31,3	30,0
$\omega_2, \omega_3, \omega_6$	38,7	38,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_6$	40,8	45,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$	45,7	52,8
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6$	46,2	54,5
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$	51,1	62,3
Ω	56,6	71,3

Таблица 5

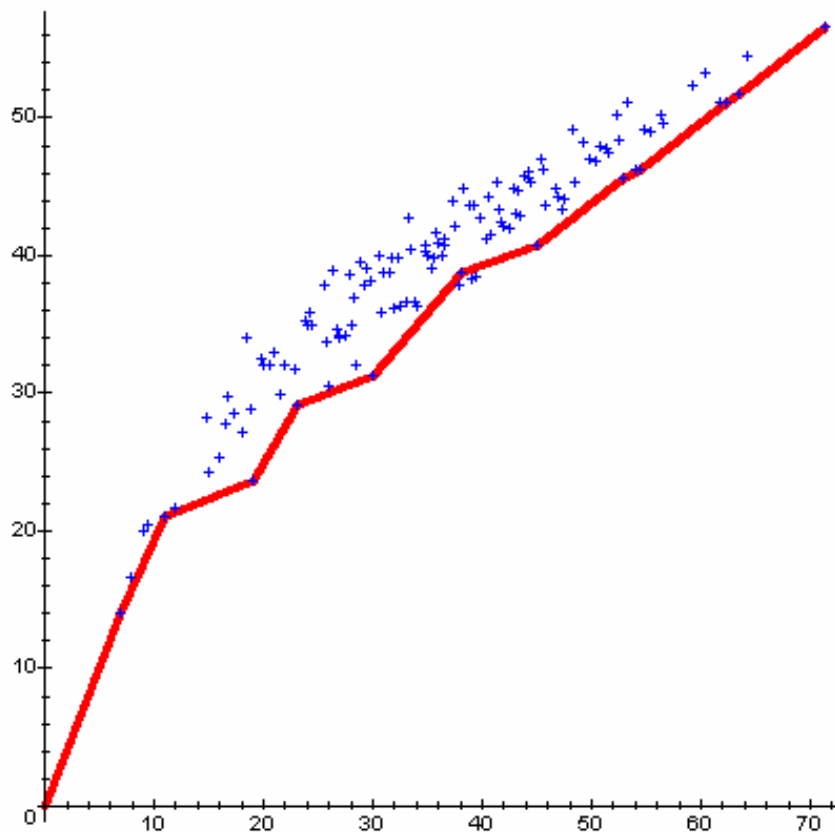
E_L	$z(E_L)$	$\tau(E_L)$
ω_1	14,1	7,0
ω_1, ω_3	23,7	19,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3$	31,3	30,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6$	46,2	54,5
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7$	51,7	62,3
Ω	56,6	71,3

Таблица 6

E_L	$z(E_L)$	$\tau(E_L)$
ω_1	14,1	7,0
ω_2	21,0	11,0
ω_1, ω_3	24,3	15,0
ω_2, ω_3	29,2	23,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3$	31,3	30,0
$\omega_2, \omega_3, \omega_6$	38,7	38,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_6$	40,8	45,0
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$	45,7	52,8
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6$	46,2	54,5
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$	51,1	62,3
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7$	51,7	63,5
Ω	56,6	71,3

Объединив решения из табл. 4, 5 и оставив несравнимые варианты, получим набор подмножеств множества Ω , которые между собой несравнимы (табл. 6).

Замечание: полученное из двенадцати несравнимых вариантов множество не обладает свойством выпуклости в пространстве функционалов (z, τ) , в чем можно убедиться из геометрического представления (рис. 1).

Рис. 1. Геометрическое представление множества E_L :

+ означают всевозможные варианты, сплошная линия получена по изложенной методике

Как следует из рис. 1, полученное по изложенной методике решение достаточно хорошо описывает точное решение. Оно не содержит только три точки точного решения.

Выводы

Метод неопределенных множителей Лагранжа в задачах векторной оптимизации позволяет находить выпуклую комбинацию несравнимых вариантов в пространстве функционалов.

Если реконструкция средств транспорта может быть описана технологическо-экономической картой, то затраты средств оцениваются снизу и сверху аддитивными функциями множеств.

Решение, избегающее непосредственного перебора, строится как объединение несравнимых вариантов трех решений задач векторной оптимизации с использованием оценок снизу и сверху для затрат и производной от функции множества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука. 1980. – 518 с.
2. Босов А. А. Производная функции множества // Проблемы математического моделирования: Тезисы конференции. – Днепропетровск: 2004, – С. 6–7.
3. Босов А. А. Моделивання технологій ремонту технічних об'єктів / А. А. Босов, Б. Е. Боднар, Е. Б. Боднар // Вісник національного університету. – К.: КНУ, 2002. – Вип. 6. – С. 10–14.
4. Курган М. Б. Наукові основи перебудови існуючих залізниць України для впровадження швидкісного руху поїздів. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Д.: 2004. – 33 с.
5. Халмош П. Теория меры. – М.: И*Л, 1953. – 291 с.

Поступила в редколлегию 10.11.2004 г.

SCIENTIFIC, QUANTITATIVE DECISION MODELS IN ROAD TRANSPORT CORPORATIONS IN SLOVAK REPUBLIC

Запропоновано наукові основи кількісної процедури ухвалення рішення в транспортних корпораціях в Словачкій республіці. Розглянуті основні ситуації ухвалення рішення і їх виконання. Наприклад, розглянуті ситуації рішення з скалярною і векторною оцінками результату, безконфліктні і конфліктні ситуації.

Представлены научные основы количественной процедуры принятия решения в транспортных корпорациях в Словацкой республике. Рассмотрены основные ситуации принятия решения и их выполнения. Например, рассмотрены ситуации решения со скалярной и векторной оценками результата, бесконфликтные и конфликтные ситуации.

The article dealt with scientific, quantitative procedure of decision making in road transport corporations in Slovak Republic. Main decision-making situations and their execution have been examined. The examples are decision situations with scalar and vector result evaluation, non-conflict and conflict decision situations.

Introduction

We understand decision as a process to choose one from several variants.

Decision making subject is in a general way usually man alternatively unanimously descending board, which like self-regard cap alternatively some organisation interests executes variant selection. Situation in which is due to make selection from large number variant, it means to decide, is called **decision situation**.

Variant selection prevents to finite decision situation results. These results could be in term of decision making subject interest superior alternatively worse. If the decision making subject tries comparing eventuality to choose that best variant, he will be called scientific participant of the decision situation. Then selection sense: in sense the best variant, will be called **optimal decision**.

Specific team of the decision making subjects do not act scientific it means they are to the decision results indifferent. Such acting decision making subject is called **indifferent participant** of the decision situation. Indifferent participant can be man choosing variant without results valuation, as well as some casual nature factor, at relation by does not matter any results evaluation. In both cases we can indifferent participant approach like some adventitious mechanism, which chooses variant according to finite (known or unknown) probability distribution. In the decision theory is it next expected that there is at least one scientific participant in the decision situation and it is searched the answer for question: what kind of decision done by the scientific participants could be considered as optimum decision. If the decision

results regards the scientific participant's interest can be evaluated through one character (criteria) we describe this as decision situation with the scalar result evaluation, if there are more characteristics we describe this as **decision situation with the vector result evaluation**.

If the decision situation is solved by one participant and the situation is evaluated scalar we describe it as non conflict decision situation. These decision situations will be solved through the mathematical programming theory. If the decision situation is solved by more participants or is vector evaluated we describe it as conflict decision situation.

The conflict situations with more scientific participants and with scalar results evaluation are by game theory proceeded. In the case of conflict situation with more scientific participants or one scientific and one indifferent participant and with the scalar results evaluation are useful the knowledge of the theory of the decision under risk and indetermination. In the case of conflict situation with one scientific participant and vector results evaluation we can use the more criterions optimization theory.

There are many samples of conflict decision situations in diverse company activity areas, for instance decision about investment or manufacturing programme with reference to many criteria and economic indexes, discussion about trading income distribution, on the macro level activity coordination of the diverse economic system branches, legal proceeding, problem with the right choose of agricultural products growing or their collection date, or chess and military conflicts and so on.

Common mathematic model of the decision situation

$$\text{Let } P = (1, 2, 3, \dots, n)$$

is set of the scientific participants of the decision situation

$$\text{Let } Q = (1, 2, 3, \dots, m)$$

is set of the indifferent participants of the decision situation.

Expected, each scientific participant $p \in P$ commands set X_p decision variants. Set of the possible states that results by indifferent participant $q \in Q$ acting will be marked Y_q .

Collection of the variants chosen by the scientific participants and states occurred by indifferent participants acting will be called decision situation result. We signify the result as (x, y) .

Where

$$x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad x_p \in X_p$$

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m) \quad y_p \in Y_p.$$

Set of the possible results of the decision situation will be called Cartesian composition $V = X \cdot Y$ where

$$X = \prod_{p=1}^n X_p$$

$$Y = \prod_{q=1}^m Y_q.$$

Expected, every scientific participant knows some dependency between decision situation results and effects caused by these results. Let relevant dependency p – scientific participant's represent vector duty

$$M_p(x, y) = \begin{pmatrix} M_{p1}(x, y) \\ M_{p2}(x, y) \\ \vdots \\ M_{pk}(x, y) \end{pmatrix}$$

Vector duty $M_p(x, y)$ will be called evaluative duty p – participant's. Every scientific player tries to maximize his own evaluative duty.

Compact form of the decision situation mathematic model

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \{1, 2, \dots, n\}, X_1, X_2, \dots, X_n, M_1, M_2, \dots, M_n \\ Q = \{1, 2, \dots, m\} Y_1, Y_2, \dots, Y_m \end{array} \right\}$$

$P = (1, 2, \dots, n)$ is set of the scientific participants of the decision situation

$Q = (1, 2, \dots, m)$ is set of the indifferent participants of the decision situation

n sets $X_1, X_2, \dots, X_n$ variants scientific participants of the decision situation

m sets $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ states indifferent participants of the decision situation

N evaluative duties $M_1, M_2, \dots, M_n$ scientific participants of the decision situation

Mathematic model of the non conflict situation

$$\{P = \{1\}; X, M\}$$

P – set includes one scientific participant

X – set includes scientific participant's variants

M – his scalar evaluative duty defened on the set X

Mathematic model decision under risk and indetermination

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \{1\}; X, M \\ Q = \{1\}; Y \end{array} \right\}$$

P – set includes one scientific participant

Q – set includes one indifferent participant

X – set includes scientific participant's variants

Y state set occurred by indifferent participant acting

M scientific participant's scalar evaluative duty

Mathematic model more criterions decision

$$\{P = \{1\}; X, M\}$$

$$M(x) = \begin{pmatrix} M_1(x) \\ M_2(x) \\ \vdots \\ M_k(x) \end{pmatrix}$$

P – set includes one scientific participant

X – set includes scientific participant's variants

M – vector evaluative duty of the scientific participant defened on the set X .

BIBLIOGRAPHY

1. Fotr J., Dědina J.: Manažerské rozhodování, Ekopress, Praha 1997.
2. Chobot M., Turnovcová A.: Modely rozhodovania v konfliktných situáciách a za neurčitosti, Alfa, Bratislava 1980.
3. Cisko, Š. a kol.: Ekonomické aspekty inteligentného dopravného systému (dopravnej telematiky) v odbore cestnej dopravy, projekt VEGA 1/12349/04, ŽU v Žiline, FPEDaS.
4. Král, P.: Benefit-Cost Analysis for the use of intelligent transportation systems. In: Studies of Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications of University in Žilina.
5. Bartošová, V.: Some aspects of optimal financial structure In: Studies of Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications of University in Žilina, volume 15. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2001.

Submitted to the editorial board 26.11.04.

В. В. СКАЛОЗУБ (ДИИТ), О. В. СОЛТЫСЮК (ТМСофт, г. Киев),
В. В. СКАЛОЗУБ (НГУ)

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБОБЩЕННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ С УЧЕТОМ ИНТЕРЕСОВ МНОЖЕСТВА СОБСТВЕННИКОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОННЫХ ПАРКОВ

Запропоновано і досліджено нові багатокритеріальні моделі транспортної задачі, призначені для розрахунку оптимальних планів залізничних перевезень, коли ураховуються інтереси кількох власників вантажних вагонів. Зведено приклади розрахунків компромісно-оптимальних планів перевезень.

Предложены и исследованы новые многокритериальные модели транспортной задачи, предназначенные для расчетов оптимальных планов железнодорожных перевозок, когда учитываются интересы нескольких владельцев грузовых вагонов. Приведены примеры расчетов компромисно-оптимальных планов перевозок.

New, multi-criteria models of transport task, intended for calculation of optimum railway operational schedules, with account of interests of several freight car owners, have been proposed and examined in the paper. The examples of calculations of compromise-and-optimum operational schedules have been provided.

Введение

Экономико-математическое моделирование оптимального планирования перевозки грузов при учете неоднородности средств перевозки по правам собственности.

В традиционных исследованиях по оптимальному планированию перевозок грузов (модели транспортной задачи (ТЗ) [1] и ее модификаций) предполагается следующие:

- все средства перевозки (СП) однородны по правам собственности;
- средства перевозки одинаковы по возможности их включения в план;
- однородность СП по направлению движения (пункт назначения может быть любым и выбирается на основе решения задачи минимизации);
- не учитывается прибыль от выполнения перевозки отдельным транспортным средством или же их группой (эксплуатационные затраты, возможный износ СП);
- не учитывается время, затраченное на перевозку, на оборот каждого СП.

Таким образом, свойства средств перевозки не включаются в распределительную модель и не являются характеристиками задачи. Эти показатели не существенны, если средства перевозки принадлежат одному собственнику, как это неявно предполагается в базовой ТЗ. Вместе с тем в настоящее время возник круг собственников железнодорожных средств перевозки, грузовых вагонов (операторские, экспедиторские компании, др.). Неоднородность средств

перевозки, в рассматриваемом нами случае по правам собственности, качественно изменяет содержание задачи оптимального планирования процессов перевозки грузов на железнодорожном транспорте.

В современных условиях хозяйствования выделяется новая экономико-математическая задача – разработка математических моделей транспортной задачи с несколькими собственниками средств перевозки и расчет компромиссно-оптимальных планов выполнения перевозок с учетом факторов, связанных с правами собственности (прибыль, эксплуатационные затраты, пробег вагонов, приоритетные направления следования в соответствии с логистическими задачами и др.). Актуальность проблемы учета прав собственности в области железнодорожного транспорта обусловлена существованием единой технологии переработки вагонопотоков на основе общих организационно-технических средств, использованием общего для всех участников информационного обеспечения и других систем. Выполнить независимое для каждого участника планирование и реализовать перевозку грузов без учета других «перевозчиков» не представляется возможным.

В работе исследованы модели расширенной неоднородной транспортной задачи, в которых учтены интересы множества собственников средств перевозки (НТЗСП). Рассмотрены методики включения основных свойств и интересов участников процесса перевозок в модель задачи оптимального планирования: побочные платежи, кооперативные игры, векторная опти-

мизация. Выполнены расчеты компромиссно-оптимальных планов транспортной задачи с неоднородными по правам собственности средствами перевозки.

1. Характеристики транспортной задачи с учетом неоднородности средств перевозки по правам собственности

В отличие от классических постановок ТЗ [1], в которых все свойства оптимального плана определяются издержками, представленными матрицей «расстояний» (удельных затрат)

$$C = \|C_{ij}\|_{m,n}, \quad (1)$$

где m – количество пунктов отправки грузов ($A_i, i=1, \dots, m$), n – количество пунктов доставки грузов ($B_j, j=1, \dots, n$), C_{ij} – удельные затраты на перевозку из пункта A_i в пункт B_j , средства перевозки однородны: в равной степени могут использоваться для любых перевозок, исходя из одной и той же матрицы (1), в моделях НТЗСП для каждого СП, расположенного в пункте A_i , его направление в некоторый пункт B_j оценивается неодинаково.

Таким образом, традиционная модель транспортной задачи не рассматривает средства перевозки как самостоятельные компоненты, имеющие индивидуальные характеристики (вектор показателей), которые учитываются при планировании. НТЗСП содержат средства для представления требований участников перевозок OK_k (операторских и экспедиторских компаний). Это расширение модели задачи может быть выражено, например, тем, что матрицы вида (1) – $C^{(k)}, k=1, 2, \dots, K$, задаются отдельно для каждого СП (учитывает логистические, технологические, перспективные и другие задачи). В зависимости от состава и способа включения в модель НТЗСП характеристик участников OK_k получают различные модели расширенной распределительной задачи по планированию грузовых железнодорожных перевозок.

В представленной работе рассматривается случай НТЗСП для перевозки однородного груза, когда у перевозчиков имеются приоритетные пункты назначения, ими по-разному оцениваются удельные затраты, матрицы $C^{(k)}$. Особенность расширенной задачи в том, что учет прав собственности на СП (вагоны) предполагает формализацию и отражение в оптимальном решении ряда дополнительных пока-

зателей, условий, соглашений. Моделям и методам НТЗСП для перевозки разнородных грузов будет посвящена отдельная работа.

Основные дополнительные компоненты расширенной задачи НТЗСП. Представление компромиссного характера задачи планирования, а также принятых соглашений о дележах общей прибыли (эксплуатационных и других видов затрат). Для реализации этих требований вводится модель, регулирующая распределение доходов-затрат. При этом возможны несколько подходов.

Дележ на основе побочных платежей [2] с учетом приоритета OK_k . В этом случае матрица (1) может быть единой.

Формирование компромиссного выбора на основе принципа эффективности Парето [3].

Учет изменения формы целевой функции из-за рассмотрения множества матриц удельных затрат $C^{(k)}$.

Применение методов дележа согласно теории кооперативных игр [2] дает следующее.

Изменение и дополнительное обоснование компонентов транспортной задачи для отражения условий, связанных с открытыми и закрытыми моделями.

Если суммарное количество СП в пунктах отправления A_i больше, чем потребность пунктов назначения B_j , необходимо установить какими из имеющихся СП следует выполнять перевозку. Здесь дополнительно должна быть определена процедура замыкания задачи – перевода части вагонов в резерв. При этом следует учитывать механизмы компенсации двух видов:

- учет недополучения прибыли $\Pi^{(k)}$, (и перспективы выполнения перевозок в будущем за счет изменения дислокации СП) сторонами, вагоны которых оставлены в резерве;

- учет фактических эксплуатационных затрат E_k , и амортизационного износа Z_k для СП, включенных в план перевозки. Различные методики по реализации механизмов компенсации приводят к многообразию видов НТЗСП.

Если суммарное количество СП в пунктах отправления A_i меньше чем потребность пунктов назначения B_j , необходимо установить какие заявки по назначению следует удовлетворить в первую очередь, чтобы минимизировать транспортные расходы, учитывая совокупность матриц $C^{(k)}$, максимизировать прибыль участников процесса перевозки OK_k .

Вторая составляющая процедуры перехода к закрытой модели НТЗСП предполагает анализ компромисса показателей – затрат и прибыли, полученной за тариф от перевозок грузов.

В случае закрытой модели классической транспортной задачи в НТЗСП все же необходимо предусмотреть структуры по учету предпочтительных направлений перевозки для отдельных собственников OK_k , $C^{(k)}$.

При формировании расширенных моделей транспортной задачи будем стремиться к тому, чтобы в наибольшей степени сохранить арсенал известных методов оптимального планирования перевозки (методы потенциалов и др. [1]). В связи с этим следует в первую очередь выделить подход на основе теории игр с побочными платежами [2]. Согласно нему модель дележа (затрат, доходов) выводится за рамки собственно задачи планирования, в которой разыскивается экстремальное значение (или же компромиссно-оптимальный набор значений) обобщенного аналога целевой функции модели ТЗ.

При более полном отображении свойств задачи НТЗСП подходы теории игр с побочными платежами все же являются недостаточными, поскольку в модели должен быть представлен также и механизм разрешения компромиссной задачи для совокупности показателей Π_k , E_k , Z_k .

Для обеспечения возможности применения арсенала методов ТЗ можно в первом приближении построить модели НТЗСП, включив все особенности и неопределенности, связанные с компромиссным характером задачи, в редуцированную матрицу «расстояний». Разумеется, что возникающие при этом разные структуры этих матриц приводят к различным постановкам транспортной задачи с множеством собственников средств перевозки.

2. Представление свойств собственников средств перевозки в моделях НТЗСП

Свойства собственников СП (количество вагонов, предпочтения в направлениях перевозки, обязательства по согласованным действиям и др.) являются основой для формирования компромиссно-оптимальных решений задач по планированию перевозок. В зависимости от возможности получения и формы представления этой информации получают различные модели расширенной транспортной задачи: детерминированные, стохастические, нечеткие. Далее обсуждаются возможности по формализации основных для нас свойств собственников.

Представление предпочтений о направлениях следования СП B_j для каждого из пунктов отправления A_i .

Приоритет пунктов B_j может быть задан с помощью следующих структур:

- вектор

$$\bar{V}_{(k)} = (v_{1(k)}, v_{2(k)}, \dots, v_{n(k)}),$$

если пункты отправления A_i не существенны при направлении грузов в пункты B_j ;

- матрица

$$W_{(k)} = \|w_{ij}(k)\|,$$

если существенны как пункты назначения B_j , так и пункты отправления A_i .

В случае задания вектора $\bar{V}_{(k)}$ его компоненты представляют ряд приоритета ($v_{i(k)} = I_{i(k)}$) и весовой вектор ($v_{i(k)} = \alpha_{i(k)}$) приоритета пунктов назначения B_j .

Ряд указывает упорядочение пунктов B_j без оценки степени предпочтения

$$\bar{I}_{(k)} = (I_{1(k)} \prec I_{2(k)} \prec \dots \prec I_{n(k)}), \quad (2)$$

где $I_{p(k)}$ – числовая характеристика (возможно, порядковый номер) приоритета пункта назначения B_p . Вектор приоритета $\bar{\alpha}_{(k)}$ определяется соотношениями:

$$\bar{\alpha}_{(k)} = (\alpha_{1(k)}, \alpha_{2(k)}, \dots, \alpha_{n(k)}); \quad \alpha_{p(k)} \geq 0,$$

$$\sum_p \alpha_{p(k)} = 1. \quad (3)$$

В матрице приоритетов $W_{(k)} = \|w_{ij}(k)\|$ строки формируются на основе представлений вида (2) или (3).

Информация о значимости собственников средств перевозки – OK_k . Эти данные являются наиболее важными при формировании заключительных решений при многих участниках задачи НТЗСП. Простейшей моделью «силы» OK_k является вектор нормированных значений количества средств N_k , имеющихся у каждого k -го собственника:

$$\bar{\beta} = (\beta_{(1)}, \beta_{(2)}, \dots, \beta_{(K)}), \quad (4)$$

где

$$\beta_{(k)} = N_k \setminus \sum_j N_j.$$

В ряде случаев одной количественной характеристики недостаточно, чтобы отобразить значимость конкретного собственника OK_k в конкретной ситуации планирования перевозки. Более точной мерой могут быть операционные свойства – степень участия OK_k в получении коллективной прибыли (затратах). Для получения моделей НТЗСП, учитывающих операционные свойства участников перевозки, могут быть использованы несколько подходов: теория неантагонистических кооперативных игр, методы векторной оптимизации и др. Отметим, что модели и методы кооперативных игр (арбитражные схемы, вектор Шепли, n – ядро, индексы Банзафа [1; 2]) могут быть использованы не только для оценки значимости каждого из участников НТЗСП, а и самостоятельно для получения окончательного решения. Вместе с тем, в этих случаях следует разработать соответствующие новые или усовершенствовать известные классические методы решения транспортной задачи. При введении оценок «силы» участников OK_k можно ограничиться редукцией модели, сохраняя методы расчетов оптимальных планов.

Остановимся на оценках «силы» OK_k на основе решения серии задач оптимизации, в которых перевозка реализуется $(K-1)$ участником, $k, k \in [1, 2, \dots, K]$. Пусть $F_k[X_{(q)}^*]$ – показатель эффективности оптимального решения НТЗСП для собственника вагонов k , если из участия в перевозке исключен собственник OK_q . Участнику OK_q сопоставлено значение средней эффективности плана вида

$$d_q = [1 \setminus (K-1)] \sum_{k \neq q} F_k[X_{(q)}^*]. \quad (5)$$

Наивысшую «силу» имеет OK_q , для которого получена наименьшая оценка согласно (5). Тогда весовой вектор «силы» собственников СП может быть задан согласно равенствам

$$\bar{\beta} = (\beta_{(1)}, \beta_{(2)}, \dots, \beta_{(K)}), \quad (6)$$

где

$$\beta_{(k)} = d_k^{-1} \setminus \sum_j d_j^{-1}.$$

Характеристики значимости собственников СП далее используются в моделях компромиссно-оптимальных решений НТЗСП.

3. Математические модели транспортной задачи при неоднородных по правам собственности средствах перевозки грузов

Математические модели НТЗСП зависят не только от представления свойств собственников СП, но и от полноты учета свойств собственников СП и требуемого типа решения распределительной задачи планирования. В зависимости от используемых ресурсов различаются следующие типы моделей НТЗСП:

- учет неоднородности грузов и средств перевозки;
- учет показателей прибыли и затрат, распределение эксплуатационных расходов;
- учет многократности перевозок, а также периода, за который необходимо рассчитать параметры компромисса между собственниками (многоэтапные модели НТЗСП).

Выделим следующие методики получения модели НТЗСП (формализации задачи):

- за счет редуцирования матрицы «расстояний» (1),
- включение дополнительных формализмов для представления компромиссных свойств задачи. Первый путь открывает возможность применения известных методов решения ТЗ, представленных в работе [1].

Остановимся на формулировке закрытой (в соответствии с классификацией [1]) модели при учете лишь неоднородности СП, когда задача планирования перевозки может быть представлена в виде:

$$F_C(\bar{X}) = \sum_{k=1}^K \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(k)} C_{ij}^{(k)} \right) \Rightarrow \min_{x_{ij} \in D_X}, \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^{(k)} \right) = \sum_{k=1}^K a_i^{(k)}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{i=1}^m x_{ij}^{(k)} \right) = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (9)$$

$$\sum_k \left(\sum_i a_i^{(k)} \right) = \sum_j b_j, \quad (10)$$

где $x_{ij}^{(k)}$ – объем перевозки из пункта A_i в B_j ,
 $a_i^{(k)}$ – количество вагонов собственника k ,
 в пункте A_i , b_j – потребность B_j .

Модель задачи (7)–(10) является обобщенной не только за счет ввода соответствующих дополнительных знаков суммирования, но и за счет редукции матрицы «расстояний» (1). Отметим несколько возможностей модификации матрицы (1), чтобы обеспечить возможность использования известных методов решения.

1. Редукция матрицы (1): представление и прибыли, и затрат

$$\hat{C}^{(k)} = \left\| \hat{C}_{ij}^{(k)} \right\|_{m,n}, \quad (11)$$

при

$$\hat{C}_{ij}^{(k)} = t_{ij}^{(k)} - e_{ij}^{(k)},$$

где $t_{ij}^{(k)}$ – удельный тариф перевозки; $e_{ij}^{(k)}$ – удельные эксплуатационные расходы.

Согласно (11) элементы матрицы представляют удельный доход от перевозки из A_i в B_j для собственника СП k .

2. Редукция модели ТЗ за счет увеличения числа строк m в матрице (1): для пункта отправления A_i количество строк равно числу собственников k_i , имеющих средства перевозки $a_i^{(k)}$ в этом пункте.

Для применения к НТЗСП с редуцированной матрицей (11) стандартных методов расчета плана достаточно исключить из рассмотрения те перевозки, которые выполняются некоторыми по заранее известным маршрутам.

Для представления в (11) не только показателей затрат и прибыли, но и предпочтений OK_k о направлениях перевозки, возможно использование структур (3), (6). В этом случае новые, модифицированные, матрицы расстояний будут иметь вид:

- задание вектора предпочтений

$$\hat{C}_i^{/(k)} = \hat{C}_{ij}^{(k)} / \alpha_j^{(k)}; \quad (12 \text{ а})$$

- матрица весовых коэффициентов

$$\hat{C}_i^{//(k)} = \hat{C}_{ij}^{(k)} / w_{ij}^{(k)}. \quad (12 \text{ б})$$

Компромиссно-оптимальная модель задачи НТЗСП с учетом распределения затрат и прибыли между собственниками имеют вид (7)

$$\text{opt}_{x \in D_x} \{F_C(\bar{X}), F_Q(\bar{X})\}, \quad (13)$$

где $F_Q(\bar{X})$ – показатель суммарной прибыли при матрицах вида $Q^{(k)} = \|q_{ij}^{(k)}\|$ в задаче

$$F_Q(\bar{X}) = \sum_{k=1}^K \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(k)} q_{ij}^{(k)} \right) \Rightarrow \max_{x_{ij} \in D_x}. \quad (14)$$

Решения, оптимальные для частных показателей $\{F_C(\bar{X}), F_Q(\bar{X})\}$, не совпадают. Решение, задачи (14) в виде множества эффективных по Парето векторов-решений и соответствующих оценок показателей (13) достаточно легко может быть получено методом ограничений [2], предполагающем задание последовательности дополнительных ограничений на допустимые решения задачи в следующем виде:

$$F_Q(\bar{X}) \geq F_q^*, \quad (15)$$

где F_q^* – последовательность констант. Окончательный выбор решения из построенного согласно (13)–(15) эффективного множества реализуется за счет его неформального анализа.

При распределении между собственниками СП доходов (затрат) по модели побочных платежей [2] имеем следующее компромиссное решение НТЗСП:

$$F_Q^{(k)}(\bar{X}^*) = \hat{\beta}_{(k)} F_Q(\bar{X}^*), \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (16)$$

В (16) использованы весовые коэффициенты (6), а оптимальное решение задачи вида (14) получено стандартным методом [1] для редуцированной матрицы «расстояний» (11).

4. Транспортная задача с неоднородными по правам собственности средствами перевозки

Рассмотрим пример реализации НТЗСП с использованием модели (7)–(10). Данные для расчетов и результаты оптимального распределения вагонов представлены на рисунке. Исследован случай закрытой модели НТЗСП, когда количество вагонов в пунктах отправления равно количеству вагонов в пунктах назначения. Как следует из расчетов, учет предпочтений собственников СП является существенным и по значению целевой функции, и по оптимальному плану перевозки.

Транспортная матрица

Отпр\Назн	в1	в2	в3	в4	в5	в6	в7	в8	Наличие
а1	10	15	5	24	8	30	12	18	180
а2	8	20	30	15	16	10	25	6	250
а3	30	25	20	10	15	16	12	24	90
а4	20	10	5	12	22	36	24	9	330
а5	5	15	25	20	7	12	18	30	500
а6	15	10	8	12	30	20	25	16	420
Потребн.	200	150	320	100	400	250	80	270	1770

Собственники средств перевозки

Пункт\ Собств	Соб1	Соб2	Соб3	Соб4	Всего в пункте
а1	30	30	50	70	180
а2	50	60	70	70	250
а3	0	0	40	50	90
а4	100	40	70	120	330
а5	20	200	150	130	500
а6	70	80	190	80	420
Всего	270	410	570	520	1770

Логистическая матрица (предпочтение по направлению движения транспортных средств)

Отпр\ Назнач	в1	в2	в3	в4	в5	в6	в7	в8
а1	0,1	0,25	0,15	0,2	0,05	0,05	0,1	0,1
а2	0,2	0,1	0,15	0,05	0,05	0,15	0,2	0,1
а3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
а4	0,15	0,15	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05
а5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,1	0,1
а6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3

**Матрица решений. Показатель условных затрат на реализацию оптимального плана
без учета предпочтений собственников – 123**

Отпр\Назн	в1	в2	в3	в4	в5	в6	в7	в8	Наличие
а1	0	0	0	0	0	180	0	0	180
а2	0	0	0	100	150	0	0	0	250
а3	0	0	46	0	0	0	44	0	90
а4	0	0	60	0	0	0	0	270	330
а5	144	0	0	0	250	70	36	0	500
а6	56	150	214	0	0	0	0	0	420
Потребность	200	150	320	100	400	250	80	270	1770

**Матрица решений. Показатель условных затрат на реализацию оптимального плана
с учетом предпочтений собственников – 158 (ухудшение на 28,4 % для варианта без учета прав собственника)**

Отпр\Назн	в1	в2	в3	в4	в5	в6	в7	в8	Наличие
а1	0	0	0	0	0	0	80	100	180
а2	0	0	0	0	0	250	0	0	250
а3	0	0	0	90	0	0	0	0	90
а4	0	0	160	0	0	0	0	170	330
а5	200	0	0	0	300	0	0	0	500
а6	0	150	160	10	100	0	0	0	420
Потребность	200	150	320	100	400	250	80	270	1770

Рис. Реализация транспортной задачи с несколькими собственниками средств перевозки

Выводы

В работе предложен и исследован новый класс транспортных задач, в рамках которого учитывается неоднородность средств перевозки по правам собственности. Показано, что учет этой дополнительной информации приводит к достаточно широкой совокупности векторных моделей математического программирования. В работе рассмотрены однородные по категории грузов перевозки; учету неоднородности и грузов, и собственников, а также ряда других факторов неоднородности средств перевозки, будет посвящена отдельная работа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ермольев Ю. М. Математические методы исследования операций / Ю. М. Ермольев, И. И. Ляшко, В. С. Михалевич и др. – К.: Вища шк., 1979. – 312 с.
2. Емельянов С. В. Модели и методы векторной оптимизации /Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. Т. 5 / С. В. Емельянов, В. В. Борисов, А. А. Малевич и др. – М.: ВИНТИ, 1973. С. 346–448.
3. Дзюбин Г. Н. Введение в прикладную теорию игр / Г. Н. Дзюбин, В. Г. Суздаль. – М.: Наука, 1984. – 334 с.

Поступила в редколлегию 14.10.2004 г.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛУВАГОНОВ НА ТЕЛЕЖКАХ МОДЕЛИ 18-781

Розглянуто результати експлуатаційних випробувань дослідних візків вантажних вагонів моделі 18-781. Експлуатаційні випробування дев'яти піввагонів на дослідних візках у маршрутних потягах показали, що після доробки конструкції надійність візків в експлуатації не гірше, ніж серійних візків моделі 18-100. Окремо показані відмови нових частин візків і оцінена їхня перспективність.

Рассмотрены результаты эксплуатационных испытаний экспериментальных тележек грузовых вагонов модели 18-781. Эксплуатационные испытания девяти полувагонов на экспериментальных тележках в маршрутных поездах показали, что после доработки конструкции надежность тележек в эксплуатации не хуже, чем серийных тележек модели 18-100. Отдельно показаны отказы новых частей тележек и оценка их перспективности.

The paper has examined outcomes of service tests of experimental freight car bogies 18-781. The service tests 9 of gondola cars, set on the experimental bogies in regularly routed trains, have shown that after improvements of the design reliability of the bogies in operation becomes not worse than that of serial bogies of 18-100 series. Failures of new parts of the bogie have been shown separately and their prospects have been assessed.

Двухосные вагонные тележки модели 18-781 [1; 2] были созданы по совместным планам ДИИТа и АО «Крюковский вагоностроительный завод» в 1995 году. Тележки проектировались и строились, как изделия для научно-исследовательских целей. В конструкции были реализованы следующие разработки ДИИТа и ИТМ НАНУ совместно с АО КВСЗ:

- упругие скользуны пружинного типа;
- штампованная надрессорная балка без клинового гасителя колебаний;
- рессорный комплект семипружинный с пониженной поперечной жесткостью за счет постановки ножевых опор;
- внутрипружинный гаситель колебаний;
- специальные упругие связи между надрессорной балкой и боковинами, которые выполнены в виде четырех подпружиненных башмачков с каждой стороны надрессорной балки.

Большинство деталей тележки взаимозаменяемы с деталями серийной тележки модели 18-100 (ЦНИИ-ХЗ).

Первые два полувагона на рассматриваемых тележках были построены в 1995 г. После ходовых динамических испытаний, проведенных испытательной лабораторией динамики и прочности подвижного состава ДИИТа в 1996 г., эти вагоны первоначально эксплуатировались в маршрутах ДИИТа в постоянно загруженном состоянии до пробега 33 тыс. км, после чего были переведены в режим обыч-

ных эксплуатационных испытаний в маршруте Кривой Рог–Ужгород–Кошице с коэффициентом порожнего пробега 0,5.

В 1999 г. были построены еще пять полувагонов на тележках модели 18-781, а в 2001 г. – еще два. Все девять вагонов до настоящего времени эксплуатируются в опытном маршруте № 1 ДИИТа под наблюдением бригады сопровождения. Периодически проводятся комиссионные осмотры для выявления отказов, их анализа и устранения.

Эксплуатационная надежность новой тележки может быть оценена по показателям последних лет эксплуатации, поскольку в первые годы шло устранение конструктивных и технологических недоработок, которые будут проанализированы ниже. В таблице приведены данные об отказах тележек под опытными вагонами по состоянию на январь 2004 г. после деповского ремонта, проведенного в 2002–2003 гг. Под отказом понимаем событие, связанное с отцепочным ремонтом вагона по неисправностям ходовых частей.

Фактический эксплуатационный параметр потока отказов определим по формуле

$$\varpi = \frac{\bar{\Omega}_i(t_p)}{\bar{t}_p},$$

где $\bar{\Omega}_i(t_p)$ – среднее удельное количество отказов i -го типа; $\bar{t}_p$ – средняя наработка вагона за рассматриваемый период эксплуатации в 10^5 км.

Таблица

Количество отказов полувагонов на тележках модели 18-781

№ вагонов	Год постройки	Пробег после ДР, тыс.км	Отказов всего	Отказов по вине новых деталей тележек
60677903	2001	132,3	2,00	1,00
60678943	2001	145,8	2,00	1,00
60905239	1999	83,0	3,00	2,00
60905916	1999	67,5	2,00	1,00
60905627	1999	116,1	1,00	0,00
65383507	1999	86,4	2,00	1,00
60914017	1999	91,8	4,00	3,00
60911815	1995	70,2	3,00	1,00
60902483	1995	32,4	1,00	0,00
Среднее на 1 вагон		91,7	2,22	1,11

Примечание. Вагон временно не эксплуатировался в связи с утерями на вагоноопрокидывателе гасителей колебаний.

Для рассматриваемых вагонов общий параметр отказов составил

$$\varpi_c = 2,42 \frac{1}{10^5 \text{ км}},$$

а по новым деталям опытных тележек

$$\varpi_m = 1,21 \frac{1}{10^5 \text{ км}}.$$

Полученные параметры отказов не превышают соответствующих показателей вагонов-эталонов на тележках модели 18-100, эксплуатирующихся в опытных маршрутах.

Принимая во внимание, что при проектировании тележек модели 18-781 не преследовалась цель существенно повысить эксплуатационную надежность (что достигается применением высокопрочных сталей, низкодефектных технологий, малоизносных профилей колес и др.), можно заключить, что эксплуатационная надежность вагонов на тележках 18-781 не ниже серийных вагонов.

Далее проанализируем основные вновь разработанные узлы тележки с точки зрения их надежности за весь пятилетний период эксплуатации.

Упругие скользуны. Были разработаны скользуны упругого типа с открытыми для осмотровиков предварительно сжатыми стальными пружинами и регулируемым «зазором», ко-

торый выбирается при перевалке кузова. Конструкция скользуна показана на рис. 1. Начальное сжатие пружин скользуна осуществляется при посадке кузова на тележку с расчетным усилием 12,6 кН. После подкатки тележки под вагон зазор между фиксатором 4 и планкой 9 уменьшается до 2...5 мм и регулируется прокладками 5.

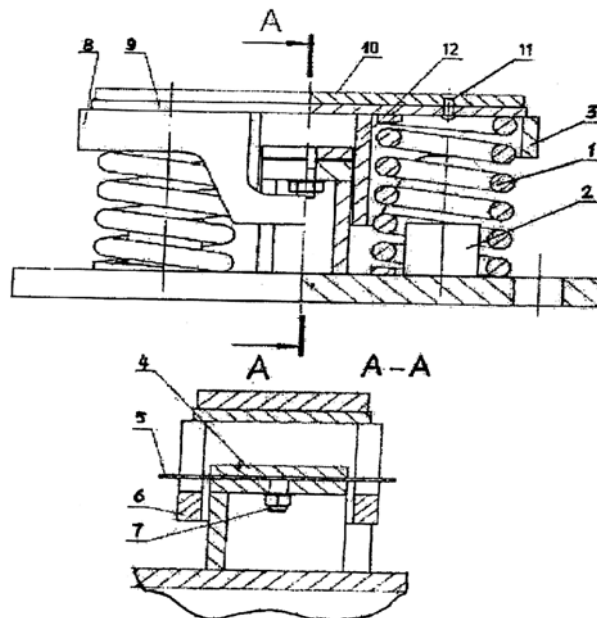


Рис. 1. Упругий скользуна:

- 1 – пружина; 2 – бонка; 3 – колпак; 4 – фиксатор;
5 – прокладка регулировочная; 6 – опора; 7 – гайка М12;
8 – боковина; 9 – планка; 10 – планка фрикционная;
11 – заклепка; 12 – ребро

Слабым местом конструкции оказался фиксатор 4, прикрепляемый гайкой 7. В протоколе осмотра от 10.09.1999 г. отмечена утеря в девяти скользунах (из общего количества 42 шт.) фиксаторов 4 и регулировочных прокладок 5. После усиления этот недостаток был устранен. Наблюдался также единичный излом пружины скользуна из-за дефекта прутка.

Штампованная наддрессорная балка успешно выдержала заводские прочностные и вибрационные испытания на надежность. Отказов несущих элементов в период эксплуатационных испытаний не обнаружено. В коробчатой балке не оказалось отверстия для слива попадающей вовнутрь влаги, что рекомендовано устранить.

Ножевые опоры установлены между наддрессорной балкой и пружинами центрального рессорного подвешивания. Установка верхних углублений для «ножей» показана на рис. 2. Сами «ножи» размещались на специальных верхних опорах пружин и на верхних крышках гасителей колебаний. Каких-либо отказов ножевых опор не наблюдалось.

Свою основную функцию – снижение поперечной жесткости рессорного подвешивания – ножевые опоры выполняют, о чем свидетельствовали результаты динамических испытаний. Благодаря этому удалось существенно снизить коэффициенты горизонтальной динамики, рамные силы и поперечные силы взаимодействия вагона с рельсовой колеей.

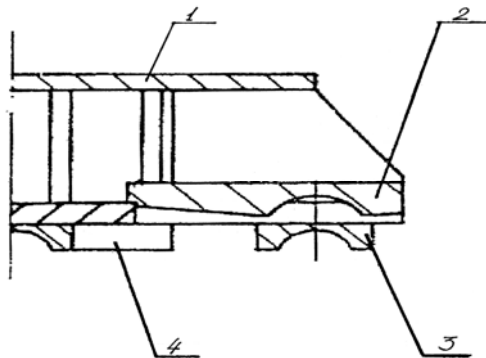


Рис. 2. Установка ножевых опор на надрессорной балке:

1 – балка надрессорная; 2 – опора гасителя колебания; 3 – опора передних пружин; 4 – опора средних пружин

Однако при проектировании перспективных тележек, имеющих пружины, невзаимозаменяемые с тележкой модели 18-100, от таких опор можно отказаться, обеспечивая понижение горизонтальной жесткости путем оптимального проектирования новых пружин [3].

Гаситель колебаний оказался наиболее сложным по изготовлению и доводке узлом тележки. Клиновой гаситель типовой тележки модели 18-100 при достаточно простой конструкции не обеспечивает требуемых параметров демпфирования колебаний, поэтому было решено заменить его на внутрипружинный гаситель новой конструкции.

Первоначально устанавливались дисковые гасители колебаний (ДГК) [4]. Первые 8 гасителей были спроектированы и изготовлены ДИИТом совместно с НИИ машиностроения при Южмаше. Эти гасители показали хорошие характеристики при ходовых динамических испытаниях тележек в 1996 г.

Остальные ДГК производились на АО «КВСЗ». К сожалению, изготовить качественный преобразователь поступательного движения во вращательное и обеспечить требуемый коэффициент трения дисков не удалось, конструкция ДГК в условиях эксплуатации оказалась ненадежной. Так, при осмотре вагонов 10.09.1999 г. (после пробега 13,5 тыс. км) зафиксированы отказы 65 % ДГК, а при осмотре 17.02.2000 г. (пробег 30 тыс. км) – отказы 60 % ДГК из 28 установленных на тележки.

Поэтому опытные вагоны временно не эксплуатировались до замены ДГК на гасители с поступательными фрикционными деталями – ВПГК (внутрипружинные поступательные гасители колебаний) [2]. В гасителях ВПГК фрикционные блоки (сухари) изготовлены из металлокерамики самосмазывающейся БК10Д5М2 по ТУ У 14000186192, а фрикционный вал – из стали 45Х ГОСТ 4543-71. Такая пара трения дала положительные результаты при заводских испытаниях ВПГК на специально созданном динамическом стенде. После этого испытательной лабораторией вагонов ДИИТа были проведены контрольные динамические испытания полувагона на тележках мод. 18-781 с замененными гасителями ВПГК. Испытания показали, что замена ДГК на ВПГК привела к некоторому ухудшению динамических параметров, но по действующим нормам [5] ход вагона по большинству показателей оценивается на «отлично», а по некоторым – на «хорошо».

В 2002 г. при деповском ремонте опытных полувагонов произведена замена всех гасителей колебаний на ВПГК. После чего эксплуатационные испытания продолжены до настоящего времени. Случаев отказов ВПГК по неисправностям не наблюдалось, но из-за слабого ограничения положения гасителя на боковой раме имели место утери четырех гасителей при разгрузке вагонов на вагоноопрокидывателе. Было принято решение один вагон временно не эксплуатировать (см. табл. 1, вагон № 60902483), а его гасители поставить взамен утерянных.

После замены серийных клиновых гасителей Ханина на ДГК и ВПГК имели место отдельные отказы пружин центрального подвешивания (типа излома прутков). Это естественно, поскольку гаситель перестал заклинивать комплект и наработка пружин возросла. Было принято решение обеспечивать нужный ресурс пружин путем поверхностной шлифовки прутков.

Упругие связи между надрессорной балкой и боковинами осуществляются с каждой стороны надрессорной балки (рис. 3) при помощи четырех подпружиненных башмачков 2, которые под углами 15° опираются на двугранные фрикционные планки 1. Такое устройство связей позволяет создавать возвращающие усилия и моменты как при взаимных линейных перемещениях боковин относительно надрессорной балки, так и при взаимных угловых перемещениях. Помимо этого, трение башмачков о планки демпфирует горизонтальные колебания рессорного комплекта.

Предполагалось, что невысокие усилия предварительного поджатия башмачков $P \approx 2$ кН не

смогут вызвать отказы рассматриваемых деталей. Но в эксплуатации имели место отдельные значительные износы поверхностей трения как башмачков, так и фрикционных планок. Наблюдались также небольшие трещины в листах «карманов» надрессорной балки для пружин и башмачков. Это свидетельствует о значительных силах, возникающих при забегании боковин, и микросхватываниях трущихся поверхностей.

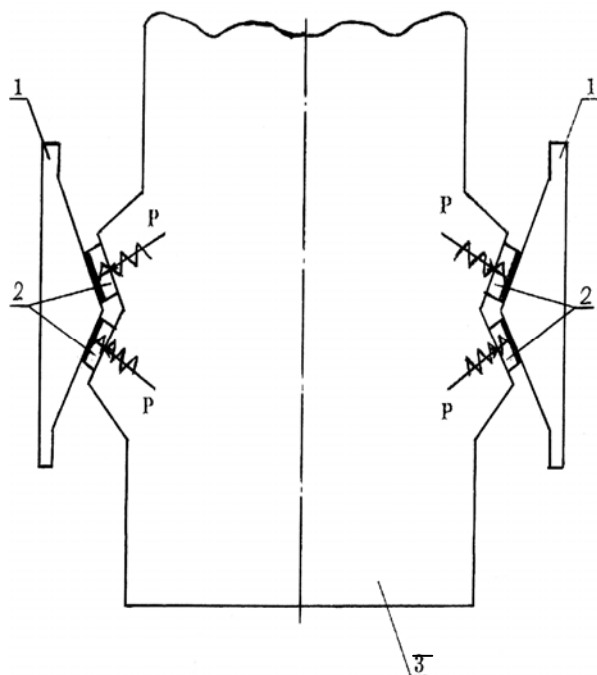


Рис. 3. Связи между надрессорной балкой и боковинами (вид сверху):
1 – фрикционные планки; 2 – подпружиненные башмачки;
3 – надрессорная балка

Эксплуатационные испытания полувагонов на тележках модели 18-781 продолжаются.

Выводы

По итогам ходовых динамических и эксплуатационных испытаний полувагонов на тележках модели 18-781 можно заключить следующее.

Цели и задачи, поставленные при создании тележек, были в основном реализованы в конструкции и позволили устранить главные недостатки серийной тележки модели 18-100.

Опытные тележки позволяют обеспечить скорости движения поездов до 120 км/ч при «отличных» и «хороших» показателях плавности хода (ограничением еще более высоких

скоростей будет тормозная эффективность, которая в данной разработке не повышалась). Это подтверждено как основными, так и контрольными динамическими испытаниями тележек с изношенными колесными парами – интенсивное извилистое движение, свойственное серийным тележкам модели 18-100 [6], отсутствовало.

Силы динамического воздействия вагонов с новыми тележками на путь снижены (вертикальные – в 1,5 раза, а боковые – в 1,8 раза). Напряжения в элементах пути при этом уменьшены не менее чем на 20 %, т. е. до уровня, допустимого в европейских странах [7].

Эксплуатационная надежность полувагонов на опытных тележках соответствует уровню надежности серийных вагонов, построенных в 60-х годах XX века. При создании промышленных тележек нового поколения надежность должна быть существенно повышена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИ СПИСОК

1. Пат. 2090404 РФ, МКИ В61F5/00. Тележка грузового вагона / О. М. Савчук, Ю. В. Демин, Ю. М. Федюшин, А. Д. Лашко, В. И. Приходько и др.; Оpubл. 20.09.97. Бюл. № 26. – 9 с.
2. Пат. 37858 Украина, МКИ В61F5/00 Візок вантажного вагона / О. М. Савчук, В. І. Приходько, І. І. Плютін та ін.; Оpubл. 15.05.01. Бюл. № 4. – 6 с.
3. Савчук О. М. Оптимальное проектирование рессорного комплекта грузовой тележки / О. М. Савчук, В. Т. Вислогузов // Транспорт: 36. науч. пр. ДШТУ. вып. 10. – Д.: ДШТУ, 2002. – С. 26–31.
4. Пат. 2037442 РФ МКИ Дискотый фрикционный гаситель колебаний / О. М. Савчук, Ю. В. Демин, В. Т. Вислогузов и др.; Оpubл. 19.06.95. Бюл. № 17. – 4 с.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.
6. Савчук О. М. Об интенсивном влиянии тележек / О. М. Савчук, А. В. Шатунов, Н. А. Гричаный // Железнодорожный транспорт (РФ), – 2003. – № 5. – С. 44–45.
7. Воронович В. П. Исследование воздействия на путь грузовых вагонов на тележках модели 18-781 / В. П. Воронович, О. М. Савчук // Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ – Д.: – 1998. – С. 66–68.

Поступила в редколлегию 20.09.2004

ВПЛИВ СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ НА ОДНОРІДНІСТЬ РОЗПОДІЛУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПЛАСТИЧНІЙ ТЕЧІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Дослідження субструктури холоднокатаних низьковуглецевих сталей показали, що після 20 % обтисування вже достатньо великі об'єми фериту мають періодичну дислокаційну структуру подібну дислокаційним чарункам. Після двох-чотирьох циклів знакозмінного згину спостерігається підвищення однорідності розподілу мікротвердості фериту при зниженні рівномірності розподілу дислокацій в середині чарунок.

Исследования субструктуры холоднокатаных низкоуглеродистых сталей показали, что после 20 % обжатия уже большие объемы феррита обладают периодическими дислокационными структурами подобными дислокационным ячеистым. После двух-четырех циклов знакопеременного изгиба наблюдается повышение однородности распределения микротвердости феррита при снижении равномерности распределения дислокаций внутри ячеек.

Investigations of the substructure of cold-rolled low-carbon steels have shown that after 20 % pressurization the already big volumes of ferrite have periodic dislocation structures similar to dislocation cells. After two to four alternating bending cycles, an increase in the homogeneity of distribution of ferrite micro-hardness can be observed, along with a decrease of homogeneity of distribution of dislocations inside individual cells.

Зеренна будова вуглецевої сталі при випадковому розподілі кристалографічних систем ковзання обумовлює формування неоднорідного розподілу деформації у різних мікрооб'ємах при її пластичному формозмінюванні [1]. Окрім диспергування структури та неоднорідного розподілу структурних складових, знизити нерівномірність деформації стає можливим за рахунок зміни напрямку навантаження.

Порівняно з односпрямованим деформуванням зміна знаку чи виду деформування супроводжується зниженням щільності дефектів кристалічної будови [2], зростанням параметрів деформаційного зміцнення [3], диспергуванням субструктурних елементів сталі [4]. На підставі наведених даних стає можливим очікувати зниження нерівномірності розподілу деформації в металі при зміні схеми деформування з односпрямованого на реверсивне.

Метою роботи була оцінка можливості зниження нерівномірного розподілу деформації в мікрооб'ємах за рахунок знакозмінного деформування сталі.

Матеріалом для дослідження були листові гарячекатані сталі з вмістом вуглецю 0,08 % (08 пс) і 0,12 % (20 сп), які надалі піддавали холодній прокатці на рівень деформації 20 та 40 %. Оцінку нерівномірності розподілу деформації проводили з аналізу даних по замірах мікротвердості фериту за допомогою приладу ПМТ-3. Знакозмінне деформування згином проводили на

спеціальному пристрої [4]. Властивості сталі вивчали при розтяганні зі швидкістю деформації 10^{-3} с^{-1} . Характеристики деформаційного зміцнення визначали з аналізу кривої розтягання. Оцінку структурних змін в сталі проводили за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень на просвічування тонких фольг. Підрахунки розмірів структурних та субструктурних параметрів здійснювали за методиками кількісної металографії [1; 2].

При підвищенні ступеня пластичної деформації структурні зміни, які відбуваються в сталі, призводять до перекручення залежності властивостей від структурних характеристик. На підставі цього виникає необхідність прогнозувати поведінку металу на межі максимально можливих деформацій та рівномірність їх розподілу при виготовленні виробів дуже складних форм. Для цієї мети розроблено багато критеріїв та різних показників [5; 6]. Найбільш частіше використовують показник ступеня (n) із рівняння кривої деформації

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \varepsilon^n,$$

де σ та ε – відповідно напруження та деформація; K – постійна, σ_0 – напруження незворотного переміщення дислокацій в області мікротечії; n – показник ступеня [2].

Друга назва – коефіцієнт деформаційного зміцнення [1; 4] та коефіцієнт пластичної анізотропії

r_m , що знаходять як співвідношення ширини та товщини зразка (при іспитах на розтягання) для окремої величини деформації по залежності:

$$r_m = \frac{1}{4}(r_0 + 2r_{45} + r_{90}),$$

де r_0 r_{45} r_{90} – відповідно значення коефіцієнта під кутом 0; 45 та 90° відносно від напрямку деформування зразка r_{90} .

Зумовлено це тим, що підвищення рівня значень n і r_m супроводжується зростанням пластичних властивостей сталей [3; 4]. На підставі наведених залежностей, при розробці нових технологій чи удосконалення діючих, з метою підвищення здатність металу витримувати значні пластичні деформації без руйну-

вання, сталі піддають обробкам, які підвищують n і r_m [5]. Зі зростанням ступеня холодної пластичної деформації n і r_m дуже швидко знижуються [1; 2], аналогічно зменшується запас пластичності сталі [2]. При цьому мікротвердість фериту зростає, зростає і ступінь відхилення її значень від середнього рівня.

Як свідчать електронно-мікроскопічні дослідження, сталі після деформації прокаткою на 20...40 % мають недосконалу дислокаційну чарункову структуру (рис. 1). На підставі цього ступінь вдосконалення вказаної дислокаційної структури повинен бути різним для різних мікрооб'ємів металу, що підтверджується характером залежностей r_m , n від ступеня деформації та зміною значень мікротвердості (H_μ) вздовж напрямку, який збігається з напрямком навантаження.

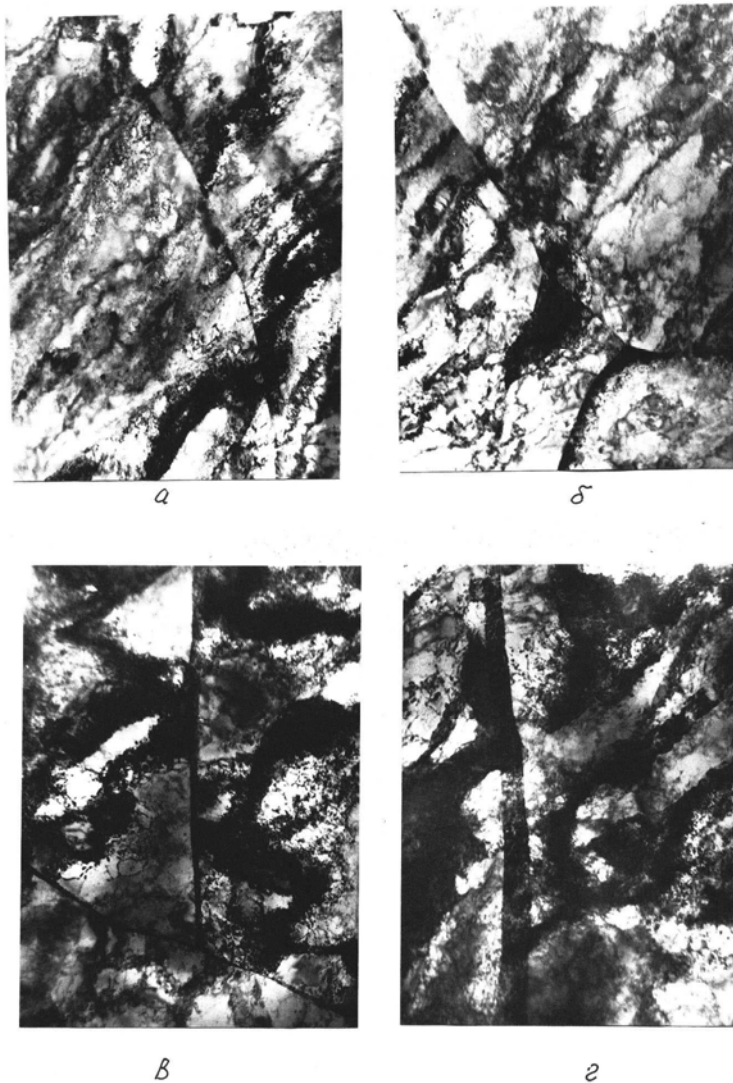


Рис. 1. Дислокаційна чарункова структура фериту холоднокатаної: а), б) на 20 % сталі 20 сп; в), г) після наступного 4-х циклового знакозмінного згину. Збільшення 13000×1,5

Під час знакозмінної деформації згином холоднодеформованої сталі знижуються міцнісні властивості та зростають відносно подовження сталей в 3...5 разів, коефіцієнт деформаційного зміцнення [3] та r_m (рис. 2). Заміри H_μ показали зниження величини максимального відхилення від середнього значення вздовж напрямку деформування (рис. 3).

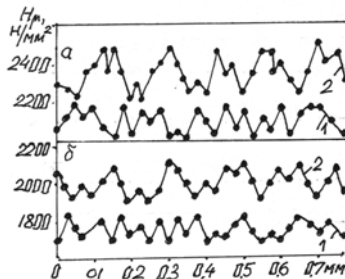


Рис. 2. Вплив ступеня пластичної деформації прокаткою (1,3...20, 2,4...40 %), кількості знакозмінних вигинів (m) на r_m :
а) на n ; б) на низьковуглецеву сталь 08 пс (1,2) і 20 сп (3,4).

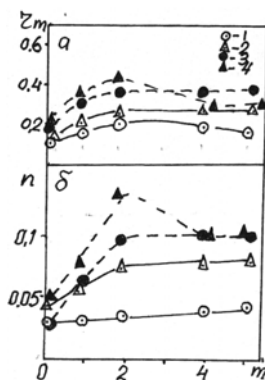


Рис. 3. Вплив ступеня пластичної деформації прокаткою (1...20, 2...40 %):
а) на 4-х цикловий знакозмінний згин;
б) на H_μ фериту сталі 08 пс

Електронно-мікроскопічний аналіз свідчить, що при невідосконаленій чарунковій структурі та при неупорядкованому розподілі дислокацій (клубкові осередки [1; 2], хаотично розташовані дислокації в середині чарунок) знеміцнення, яке спостерігається за рахунок знакозмінного деформування зумовлено не тільки анігіляцією одиничних незв'язаних дислокацій, а й зі структурними змінами, які мають місце в самих чарунках. Так, вже після перших 2...4 циклів знакозмінного навантаження, раніш сформована дислокаційна чарункова структура значно змінюється. Результати кількісного структурного аналізу показали не тільки зменшення розмірів чарунок [4], а і змінення їх форми: вони стали більш рівновісними (див. рис. 1, в, г).

Крім цього, змінилася й функція розташування осей чарунок по розміру. У порівнянні з розподілом, який спостерігається для тільки деформованого прокаткою металу, операція знакозмінного навантаження сприяє звуженню функції розподілу, що може розцінюватись як одна з ознак вдосконаленості дислокаційної чарункової структури [2; 4]. На підставі проведеного аналізу можна дати оцінку процесам внутрішньої перебудови, які сприяють підвищенню рівномірності розподілу деформації та зв'язаного з ним комплексу властивостей.

Аналіз залежності зміни H_μ показує, що при односпрямованому деформуванні характерною ознакою є закріплення осередків з підвищеною та зі зниженою деформацією. Після зміни виду деформування (прокатка та наступний знакозмінний згин) відбувається перерозподіл між вказаними осередками (підвищеної та зниженої) мікротвердості. Припускаючи, що більшість зрушень при пластичній деформації зосереджена у вузькому інтервалі кутів поблизу площин з максимальними діючими дотичними напруженнями, зміна знаку навантаження повинна привести до принципово інших структурних змін у порівнянні з односпрямованим деформуванням.

Дійсно, як свідчать електронно-мікроскопічні дослідження, при знакозмінному деформуванні виникають моменти сил, які сприяють завороту окремих мікрооб'ємів металу на малі кути, що обумовлено компенсацією виникаючих неоднорідностей у полях напружень. Крім цього, необхідно визначити, що в чарунковій структурі зразу після холодної прокатки має місце практично рівномірний розподіл дислокацій в середині чарунок (рис. 1, а, б). У протилежність цьому під час знакозмінної гнучкої деформації можна спостерігати значну кількість чарунок з виникненими в них немонотонностями в розподілі щільності дислокацій. Таким чином, спільний вплив заворотів окремих мікрооб'ємів та формування немонотонностей розподілу дислокацій в середині чарунок холоднокатаного металу зумовлює необхідність формування додаткових субграниць розподілу, які дуже часто експериментально спостерігаються (див. рис. 1, г).

Поява додаткових субграниць після знакозмінного гнучкого деформування вказує на зростання дисперсності структури в цілому, але в той же час необхідно відзначити, що рівномірність розподілу дислокацій зменшується. Таким чином, на перший погляд маємо достатньо парадоксальну ситуацію – для підвищення рівномірності деформації в мікрооб'ємах необхідно збільшити нерівномірність її розподілу в знач-

но менших об'ємах на субмікрорівні. При значимій гнучкій деформації холоднокатаного металу активізація інших додаткових систем ковзання сприяє розвитку анізотропного характеру деформації в субструктурних об'ємах, що в цілому підвищує її розподіл у більш крупних об'ємах, що в решті решт підтверджується зниженням відхилення мікротвердості металу від її середніх значень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Большаков В. И. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности / В. И. Большаков, К. Ф. Стародубов, М. А. Тылкин. – М.: Металлургия, 1977. – 200 с.
2. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 272 с.
3. Вакуленко И. А. Влияние правки на свойства термупрочненной в потоке стана угловой стали СтЗпс. / И. А. Вакуленко, В. Т. Черненко, В. И. Друзин // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1985. – № 1. – С. 36–37.
4. Вакуленко И. А. Влияние изгибно-растяжного деформирования на дислокационную структуру холоднокатаной низкоуглеродистой стали / И. А. Вакуленко, В. Г. Раздобреев // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2003. – № 8. – С. 28–30.
5. Lengford G. Strain hardening of iron by several plastic deformation / G. Lengford, M. Cohen // Trans. Quart., 1969. V 62. – № 3. – P. 623–638.
6. Вакуленко И. А. Изменение акустической эмиссии в процессе деформирования углеродистой стали / И. А. Вакуленко, А. Г. Лисняк // Изв. АН России. Металлы. 1993. – № 4. – С. 97–101.

Надійшла до редколегії 27.09.2004.

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ЧАСТКИ ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ В ПРОКАТІ З ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Розглянуто вплив об'ємної частки зміцненого шару та параметрів магнітної фази на рівень міцностних характеристик термозміцненого прокату.

Рассмотрено влияние объемной доли упрочненного слоя и параметров магнитной фазы на уровень прочностных характеристик термоупрочненного проката.

The paper examines the influence of voluminous share and the parameters of magnetic phase on the level of strength characteristics of thermally strengthened rolled metal.

На металургійних підприємствах при виготовленні прокату, призначеного для залізничного транспорту, широке розповсюдження отримали термічні та термомеханічні обробки, які сприяють досягненню підвищеного комплексу властивостей металу. Аналіз сучасних досягнень у технології формування структури термозміцненого прокату вказує на значну структурну неоднорідність, яка виникає по перерізу металу [1]. Слід відзначити, що в цілому структура металу має декілька зон. Починаючи від поверхні, на якій формується шар з мартенситоподібною структурою, далі слідує перехідна зона, яка являє собою суміш проміжних структур з різним ступенем відпуску. Та нарешті, центральні об'єми мають структуру гарячекатаного металу. Зі зростанням ступеня зміцнення довжина окремих зон з різним сполученням структурних складових змінюється, пропорційно їм змінюються і властивості сталі. Таким чином, набирають великого значення питання, які дозволяють оцінити довжину прошарків металу з різним структурним станом, зокрема з мартенситоподібною структурою, як головною в досягненні високих рівней міцнісних властивостей металу після термомеханічного зміцнення [1].

Мета роботи – це спроба оцінити об'ємну частку зміцненого шару при термомеханічній обробці вуглецевої сталі, яка може бути корисною при виготовленні металевих виробів для залізничного транспорту.

Матеріалом для досліджень був стрижневий прокат діаметром 14 мм зі сталей з вмістом вуглецю до 0,22 %, виробництва металургійного комбінату «Криворіжсталь». Температура кінця прокатки була 1100 °С. Умови зміцнення змінювались за рахунок включення необхідної кількості охолоджуючих пристроїв. Крім цього, кількість пристроїв та їх взаємна розташованість, на шляху просування прокату, зумовлю-

вала довжину пауз між етапами охолодження. Механічні властивості визначали з аналізу кривої деформації при розтяганні. Структурні зміни в сталі вивчали за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень та методик кількісної металографії [2].

Залежно від хімічного складу сталі, сортаменту та призначення потрібне сполучення властивостей досягають за рахунок різних схем термічного зміцнення [1].

При виготовленні значної кількості видів прокату, технологічною документацією зумовлюються межі коливання вмісту вуглецю та легуючих елементів, що разом з відхиленнями умов термозміцнення призводять до коливання абсолютних значень властивостей прокату від середнього рівня. На підставі цього швидке реагування та уточнення умов зміцнення будуть сприяти підвищенню рівномірності властивостей по партії металу та дадуть змогу диференціювати його по рівнях міцності. Так, прокат з досліджуваних сталей після охолодження до температури 750...780 °С має міцнісні властивості на рівні 420...450 Н/мм². Як показали мікроструктурні дослідження зазначений рівень міцності зумовлено більшою мірою здрібнюванням феритного зерна. Подальше зниження температури кінця охолодження, від 750...780° до 650...600 °С, супроводжується зростанням міцностних властивостей. Як свідчать структурні дослідження, ферито-перлітна суміш, подібна гарячекатаному стану з розміром зерна фериту 8–9 балів, змінюється на більш складну структуру. У цьому разі шари металу на поверхні являють собою відпущені при різних температурах структури, які сформовані за механізмом зсуву, а внутрішні об'єми – це суміш фериту з глобулами цементиту різного рівня дисперсності (рис. 1).

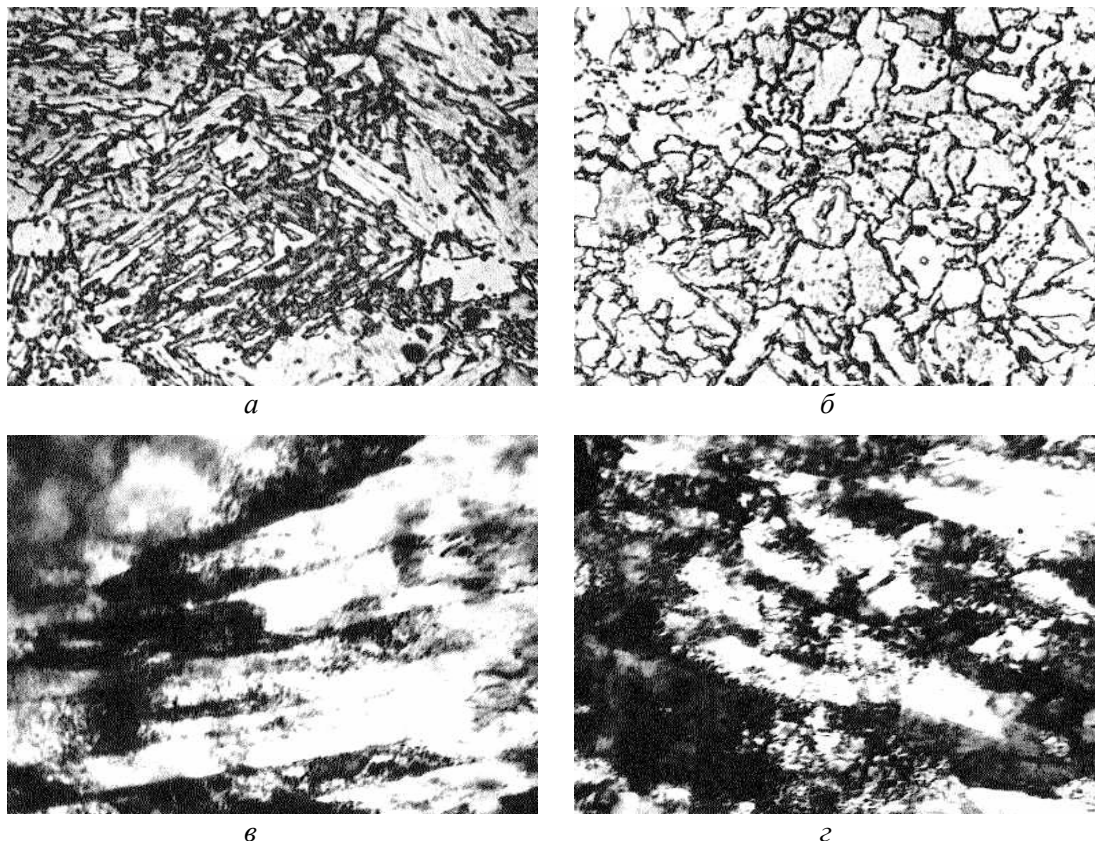


Рис. 1. Структура сталі з 0,22 % С після прискореного охолодження до температури 600 °С:
а, в – поверхневі шари; б, г – серединні. (Збільшення 800 (а, б); 24000 (в, г))

Разом зі структурними дослідженнями було проведено вимірювання мікротвердості від поверхні термозміцненого прокату. На підставі аналізу експериментальних даних було встановлено, що починаючи від поверхневих прошарків металу, мікротвердість (H_μ) по експоненціальній залежності знижується (рис. 2). Після досягнення деякої глибини просунення, вимірювання H_μ показали незмінність значень. На підставі цього, відстань від поверхні у глибину металу до моменту, коли значення мікротвердості стають незмінними, являє собою товщину шару термозміцненого прокату. Зростання рівня зміцнення викликає не тільки збільшення H_μ на поверхні, а й змінювання вигляду самої залежності H_μ : вона стає більш пологою (рис. 2). Отже, вимірювання мікротвердості дозволяє оцінити довжину термозміцненого шару металу та його об'ємну частку (f). Разом з цим, з урахуванням умов роботи прокатного стану та технології термічного зміцнення, наведений метод не дає змогу вимірювати f .

Одним із альтернативних методів, який дозволить дуже швидко у промислових умовах знайти значення об'ємної частки металу, що перетворюється при охолодженні із аустеніту та

стає феромагнетиком, є електромагнітнометричний [3]. Застосування цього методу дає змогу оцінювати кінетику перетворень аустеніту при різних умовах та схемах прискореного охолодження прокату [3; 4]. Перевірка можливості такої роботи була проведена в умовах стану ДС 250-1. Оснащення його спеціально розробленим обладнанням для вимірювання електромагнітних властивостей сталі [4], дало змогу оцінити об'ємну частку термозміцненого шару та зв'язати його значення з рівнем міцностних властивостей прокату. При незмінній схемі прискореного охолодження, зростання концентрації атомів вуглецю в сталі супроводжується підвищенням міцності, пропорційно їм зростає об'ємна частка металу з феромагнітними властивостями (f_μ) (рис. 3). Для аналізу можливості прогнозування міцності сталі (σ_B) від f_μ розглянемо залежність щільності зв'язку між зазначеними характеристиками.

На підставі наведених залежностей встановлено, що зростання концентрації атомів вуглецю в сталі супроводжується зниженням швидкості зміни σ_B від

$$f_\mu \left(\frac{d\sigma_B}{df_\mu} \right).$$

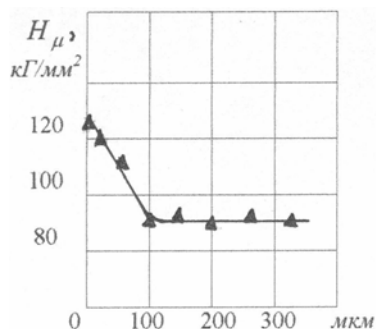


Рис. 2. Мікротвердість фериту в сталі залежно від відстані від поверхні прокату

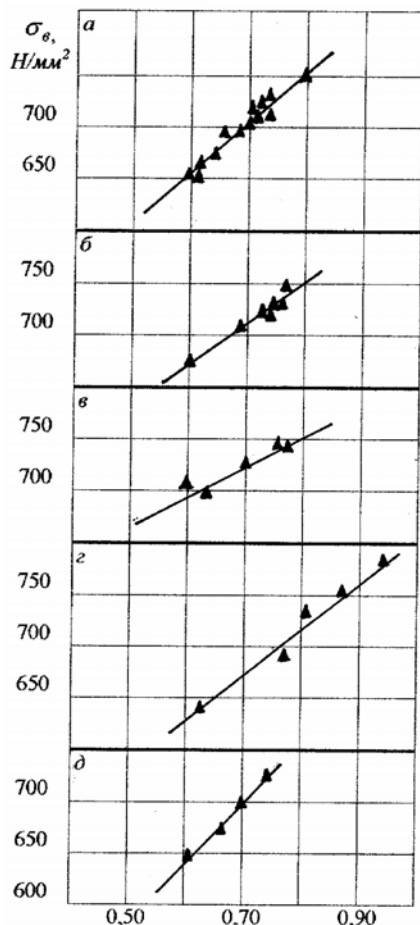


Рис. 3. Вплив вмісту вуглецю: а – 0,173; б – 0,19; в – 0,20; г – 0,21; д – 0,22 % С на залежність σ_B від f_μ

Для термозміцненого стану (рис. 4, а), можна записати:

$$\frac{d\sigma_B}{df_\mu} \approx \frac{1}{C}, \quad (1)$$

де C – концентрація атомів вуглецю в сталі.

У першому наближенні рівень міцнісних властивостей, який досягає в прокаті після його прискореного охолодження, може бути оцінений за рівнянням:

$$\sigma_B = \sigma_B^0 + \left| \frac{d\sigma_B}{df_\mu} \right| f_\mu, \quad (2)$$

де σ_B^0 – деяке значення міцності сталі, коли $f_\mu = 0$.

Враховуючи пропорційне зростання міцнісних властивостей сталі від концентрації атомів вуглецю [1], величина σ_B^0 повинна теж залежати від вмісту вуглецю. Дійсно, знаходження величин σ_B^0 , яке здійснили за екстраполяції залежностей, до перетину з віссю ординат (рис. 3), коли f_μ дорівнювало нульового значення підтвердило це допущення. Знайдені значення σ_B^0 показали прямопропорційну залежність від концентрації вуглецю в сталі (рис. 4, б).

Підставляючи експериментальні значення f_μ , з урахуванням залежності $\frac{d\sigma_B}{df_\mu}$ та σ_B^0 від вмісту вуглецю в сталі, в співвідношенні (2), були розраховані величини міцності (позначимо їх як σ_B^*). Порівняльний аналіз абсолютних значень σ_B і σ_B^* показав достатньо хороший збіг. Квадратичне відхилення від середнього значення не перевищувало 12 %.

На підставі отриманих результатів стає можливим застосування електромагнітного методу для оцінки об'ємної частки термозміцненого прокату та може бути корисним при розробці швидкісного контролю і технологічних параметрів виробництва металу, призначеного для залізничного транспорту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Большаков В. И. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности / В. И. Большаков, К. Ф. Стародубов, М. А. Тылкин. – М.: Металлургия, 1977, – 200 с.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – М.: ГНТИЦДМ, 1958 – 446 с.
3. Узлов И. Г. Исследование процесса прерванной закалки проката / И. Г. Узлов, Р. В. Гвоздев, В. В. Парусов и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1982, – № 2. – С. 26–28.
4. Чигринский В. А. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. / ИЧМ НАНУ. – К.: Наук. думка, 1998. – Вып. 2. – С. 400–405.

Надійшла до редколегії 30.11.2004.

MAJOR TECHNICAL FEATURES OF TGV TRAIN SYSTEMS

Із збільшенням швидкостей руху поїздів TGV, виникає багато проблем, пов'язаних з дизайном використовуваними матеріалами та безпекою. Вирішення цих проблем потребує великих інвестицій від залізниць Франції в науково-дослідні проекти. Інвестиції повинні отримати вигоду в далекій перспективі. Нові лінії TGV повинні бути відкриті у місцях, де є достатня потреба у поїздах на великій відстані, що спричиняють отримання розумної вигоди системними операторами TGV.

С увеличением скоростей движения поездов TGV, возникает множество проблем, связанных с дизайном, используемыми материалами и безопасностью. Решение этих проблем требует крупных инвестиций от железных дорог Франции в научно-исследовательские проекты. Инвестиции должны принести выгоду в отдаленной перспективе. Новые линии TGV должны быть открыты в местах, где есть достаточная потребность в поездках на большие расстояния, способствующих получению разумной прибыли системными операторами TGV.

With increase of the speed limits of the TGV train systems, there are many problems arising as regards the design, used materials and safety. Solutions to these problems demand heavy investments from the SNCF company into research and development projects. As such investments must be profitable in a longer term, new TGV lines have to be established between places where there is a sufficient need for long distance travel able to bring reasonable profit to the TGV train system operator.

Introduction

The TGV (**Train à Grande Vitesse**) stands for the high speed train in French. It refers to more than just the trains. Indeed, the TGV is a system which comprises train, track and signalling technologies that when combined make high speeds (typically 300 km/h) possible. The TGV system is owned and operated by SNCF, the French national railways, and is an integral part of French rail travel. Today there are approximately 350 train sets of this system in service.

Historical overview

The TGV program was launched in the late 1960s. In its early stages, the program was considered a technological dead end. Conventional wisdom at that time held that steel wheel on steel rail technology had been explored to its fullest, and it was time to move on to more innovative technologies like magnetic levitation and jet-powered hover trains. As a result, the project did not receive any government funding.

Nevertheless, SNCF followed its idea to develop a high speed rail system that would have remained compatible with the existing railway infrastructure. Especially in the heart of the cities it was extremely important to use existing facilities because building any new tracks in that areas would be prohibitively expensive.

Present situation

Even if it did not seem so at the beginning, the TGV project was incredibly successful. After intensive prototype testing started in the early 70's

there was a first part of the Paris-Lyon line put into operation on 27 September 1981.

It became one of the few parts of SNCF that turned a significant profit, and completely paid for itself (including construction costs) in only a decade. The French government, faced with this success, hailed the new system and offered its backing for further development of the nascent high speed rail network. The TGV had become a technological symbol associated with France. Since then, new TGV lines and trains have been built, and improvements made with each generation. In 1989, the TGV Atlantique made its debut, serving points west of Paris. The trains incorporated many improvements over the earlier Sud-Est generation, a sign of the continuing research and development being conducted by SNCF and its contractors. Most notably, the 1981 speed record (380 km/h) was pushed to 515.3 km/h on 18 May 1990, using the newer generation equipment.

Today, there are three major trunk lines radiating out of Paris, the most recent one being the Nord-Europe line, opened in 1993 and connects Paris to Lille, Belgium, the Netherlands, Germany, and Britain through the Channel tunnel. Extensions continue to be built, although budgetary constraints have slowed the momentum of the TGV expansion.

Technical features

Concerning the train itself, its most striking aspect is the aerodynamic styling of the nose. But that is not the most innovative feature of the TGV

train system. There are many others which are not so evident but are worth to be described.

1. Articulation

As regards the articulation, cars are not merely coupled together; they are instead semi-permanently attached to each other, with the ends of the two adjacent cars resting on a common two-axle truck. That is why it is more appropriate to speak of «trailers» than of «cars».

There are several good reasons for this design. The TGV was designed from the beginning to be a very lightweight train; so it made sense to reduce the number of axles. Placing the wheels between the trailers also reduces interior noise levels, provides more space and a higher plane for the suspension (secondary suspensions are in red on the picture), and improves aerodynamics (due to the lower height and small inter-trailer gaps). Articulation of the train also allows adjacent trailers to be dynamically coupled by dampers, and makes possible a clean, quiet passage from one trailer to the next.

2. Brakes

Current TGV train sets use three brake systems: disks, dynamic brakes on powered axles and in some cases tread brakes for emergencies. For speeds of 350 km/h and more, these conventional brakes lose their ability to stop the train in a reasonable distance and cannot perform a safe emergency stop. The problem is simple: kinetic energy, which must be dissipated as heat in the braking system, grows as the square of speed.

For the TGV Nouvelle Génération, an entirely new brake system is needed. Adhesion at high speeds is insufficient to perform quick stops using wheels alone. The wheels tend to skid, and the brakes can overheat and wear quickly, increasing maintenance costs. Therefore, it is necessary to use a system that bypasses the wheel/rail interface. This system, the magnetic induction brake, is based on existing magnetic brake technology which was originally explored using the Zébulon test vehicle. Magnetic induction brakes dissipate kinetic energy of the train as heat in the rail, by way of induced eddy currents. They are only effective above about 220 km/h (137 mph), because they put so much power to the rail that thermal damage to the railhead would result at lower speeds. There are several technical concerns with magnetic induction brakes. Successive brake applications by several trains over the same stretch of track could overheat the rail, resulting in

operational restrictions. In addition, they apply upward forces on the track, which is not designed for such loads.

A prototype of a magnetic induction brake was built and underwent testing on a TGV Réseau train set; it provided up to 16 % of the braking effort. In stowed position, the brake shoe (mounted under the power car's truck side frames) rides 10 cm (4 in) above the rail; when applied, it skims a few cm above the rail without actually touching it. Currents generated by the traction motors create a magnetic field, and the motion of the train causes circular currents to flow inside the rail. These currents produce a retarding force on the train, and are turned into heat by the internal resistance of the rail. (This is Faraday's law in action!)

The disk brakes are also in need of supplemental thermal capacity to sustain longer applications; this can be achieved through the use of new materials. A carbon disk/carbon pad architecture is under consideration, although such systems experience large variations in effectiveness and wear, in addition to being prone to oxidation problems. Another design is inspired by the disk brakes of airliners, using a rotor disk sandwiched between two stator disks by hydraulic pressure. This runs into problems of braking effectiveness as a function of speed, requiring sophisticated active control of another league than the simple antilock system used today. It also poses problems for maintenance, requiring disassembly for inspection. Yet another direction of research is a high-pressure carbon/carbon brake, using contact pressures an order of magnitude higher than in other designs. This technology is touted to increase the thermal capacity of each disk from the current 18.5 MJ to 45 MJ, while decreasing the weight of each truck by 500 kg (1100 lb). Finally, the «furthest out» designs call on ceramic/ceramic brake systems.

3. Weight reduction

Axle loads become a critical constraint at high speeds, in order for maintenance costs of track and train to be reasonable. It is the reason why the keeping weight down is one of the biggest challenges for the design of the next TGV generations.

The first approach to reduce weight is new materials. For the TGV Duplex car bodies, aluminium is used. The trailers are a monocoque design assembled out of extrusions, yielding a weight reduction of 20 % over an equivalent steel structure. The frame of the power cars is made of high tensile strength steel, as in the TGV

Atlantique units, for a weight reduction of 10 % over lower grade steel. Stainless steel could also make an entry into the new train sets, as well as composites. Composite materials are not used on the TGV Duplex's main structural components for reasons of cost, and also because the technology was not deemed sufficiently mature. Future TGV generations, however, could be built with a composite main structure assembled with glue. There is a research effort to explore the resistance of composite materials to the wear and tear encountered over 30 years of high-speed operation. Other weight reductions are achieved by using better paints, electrical wires with thinner insulation, and many other small measures that become significant when added together.

4. Noise reduction

Noise is another major concern of high speed rail technology, not only for the passengers but also for those living near high speed tracks. The interior noise level of the new TGVs, in particular, suffers from all the weight-reducing measures described above. The solution adopted is to isolate the interior from the structure, using flexible blocks as well as a sound-deadening composite laminate.

Outside of the train, aerodynamic noise begins to dominate wheel noise at high speeds. Better aerodynamics not only reduces the emitted noise, but also moderates the energy consumption of the train. Field measurements via laser velocimetry, wind tunnel tests, as well as computer models have been used to investigate the flow characteristics in the vicinity of the car bodies. Much attention centres on the nose profile, and shrouding of the trucks; data is being shared with Japanese researchers who are pursuing similar matters. While the TGV NG power car looks much like a 3rd generation power car, exterior shapes for future designs are being further optimized. The fifth generation TGV, currently under the form of the MX100 research project, will have a radically streamlined nose profile. This is because at the speeds envisioned, aerodynamic drag dwarfs every other source of resistance to motion; improving the aerodynamic characteristics of the train therefore has a big payoff.

Other points of interest are the study of the interaction of the train with nearby obstacles, such as in a tunnel. Special shapes can reduce the strength of pressure waves generated by the train, thus improving passenger comfort. An early result of this research was the profile of

Eurostar's nose, which is optimized for running in the Channel tunnel.

Trackside noise reduction has also been a focus, with passive and active solutions. Acoustic walls can be built (and have been built in many places) to shield noise-sensitive areas from the track, yielding reductions of overall train noise on the order of 10 to 15 dB. Active systems using loudspeakers embedded in the walls are also under consideration.

5. Crashworthiness

Following recent trends in the auto industry, there is significant effort going into passive security of TGV train sets.

Using new software for railroad crash simulation, called 'Pamcrash', the TGV Duplex structure was optimized on a supercomputer. The trailers have extremely rigid bodies with deformable, energy absorbing crush zones at the ends. The coupling between the power cars and trailers has also been reviewed; it still uses screw-link couplers with buffers, but the buffers have structural fuses built in so that they fold away under crash loads. The car ends have been reviewed to prevent the power car from climbing onto the first trailer. For multiple unit operation, the Scharfenberg couplers in the noses of the train set have been designed to collapse under heavy loads, so that two power cars coupled nose to nose can make firm contact with each other to prevent telescoping. This is in addition to the energy absorbing ram shield already mounted in the nose of all TGV power cars to defend the cab cubicle.

6. Signalling

As regards the signalling in TGV systems, it is the *exclusive* use of in-cab signalling for high speed running. TGV lines do not have line side signals; they are too difficult to read at speed. All signalling information is transmitted to the train through the rails, and appears to the engineer in the cab. In general, TGV train sets are heavily computerized, and many important functions are controlled digitally.

7. Tracks

Dedicated TGV lines use no special technology - just welded rails laid on hybrid steel and concrete ties, over a thicker than usual bed of ballast. The greatest difference lies in the combination of curve radii and super elevation that make high speed possible; a 5 km (3 mi) radius would be considered tight. The track centres are spaced further apart than usual, to reduce the blast of two crossing

trains. Signalling blocks measure 1500 m (5000 ft) and certain lines allow one train every three minutes. The catenary is of completely standard design, essentially identical to 25 kV equipment on other French lines. The track and catenary are aligned and tuned specially for high speed.

Conclusion

With pushing up the speed limits of the TGV train systems, there are many problems arising as regards the design, used materials and safety. Solutions to these problems demand heavy investments from the SNCF company into research and development projects. As such

investments must be profitable in a longer term, new TGV lines have to be established between places where there is a sufficient need for long distance travel able to bring reasonable profit to the TGV train system operator.

BIBLIOGRAPHY

1. Šotek K., Konvit, M., Klimo, M.: Dopravná a informačná sústava, Žilinská univerzita v Žiline, FRI. Žilina, 1997.
2. Voleský K. a kol.: Dopravná a spojovacia sústava, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDaS. Žilina, 1998.

Submitted to the editorial board 10.11.04.

ХАРАКТЕР ТА ВЕЛИЧИНА ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСОВОГО З'ЄДНАННЯ БУКСОВОГО ВУЗЛА ВАГОНІВ

Викладено результати статистичних досліджень зносу шийки осі колісної пари та внутрішнього кільця підшипника буксового вузла вагонів. Визначено параметричну надійність нерухомого з'єднання з врахуванням овальності та конусності деталей цього з'єднання.

Изложены результаты статистических исследований износа шейки оси колёсной пары и внутреннего кольца подшипника буксового узла вагонов. Определена параметрическая надёжность неподвижного соединения с учетом овальности и конусности деталей этого узла.

The article deals with results of statistical research of the wear quantity of inside surface of races and wheelset neck of the car. The parametrical reliability of the stationary joint has been defined with account of oval and cone-like shape of the details.

На сьогоднішній день на залізницях України експлуатується 197 тисяч одиниць рухомого складу, з них 186374 вантажних вагонів, ступінь зносу яких складає ~ 60 % [1]. Але і далі Укрзалізниця вимушена використовувати зношену техніку, одночасно вирішуючи питання безпеки руху, важливе місце у якому посідає експлуатація і ремонт колісних пар.

Як показали дослідження зносу шийок осей та кільць підшипників колісних пар електровозів [2; 3; 4], у результаті технологічних та експлуатаційних факторів в них виникають відхилення від правильної геометричної форми. Похибки форми призводять до того, що поточний розмір (радіус чи діаметр) в різних точках контура поперечного перерізу деталей неоднаковий. Ці похибки являються основними характеристиками геометричної точності деталей. Вони мають значний вплив на правильне функціонування пресових з'єднань. Відхилення від правильної геометричної форми викликають нерівномірність натягу в з'єднанні, що, в свою чергу, призводить до сильного та нерівномірного зносу деталей, спотворення характеру посадки та нерівномірного розподілення напружень в посадках з натягом.

Для визначення параметричної надійності нерухомого з'єднання буксового вузла вагонів з урахуванням зазначених похибок застосуємо методику визначення похибки розміру циліндричної деталі в поперечному перерізі, яка викладена в роботі [3].

Для аналітичного запису поточного розміру введемо полярну систему координат. Шийка осі колісної пари з радіусом $R_{ш}$ та отвір внутрішнього кільця її підшипника з радіусом r_k зношуються випадково до деякого розміру, який можна зобразити в полярній формі (рис. 1). Тоді полярний ра-

діус ξ_k поперечного перерізу циліндричної деталі, що має елементарний вид похибки форми, аналітично можна подати як [3; 6]:

$$\xi_k(\varphi) = r_{cp} + x_k \cdot \cos(k \cdot \varphi + \psi_k^{(s)}), \quad (1)$$

$$(k = 2, 3, \dots, p)$$

де r_{cp} – радіус середнього кола даної деталі, що визначається як середнє значення функції $\xi_k(\varphi)$;

x_k – амплітуда похибки форми; $\psi_k^{(s)}$ – початкова фаза s -ї гармоніки відхилення форми кільця в поперечному перерізі; s – номер гармоніки; φ – кут обертання полярного радіуса.

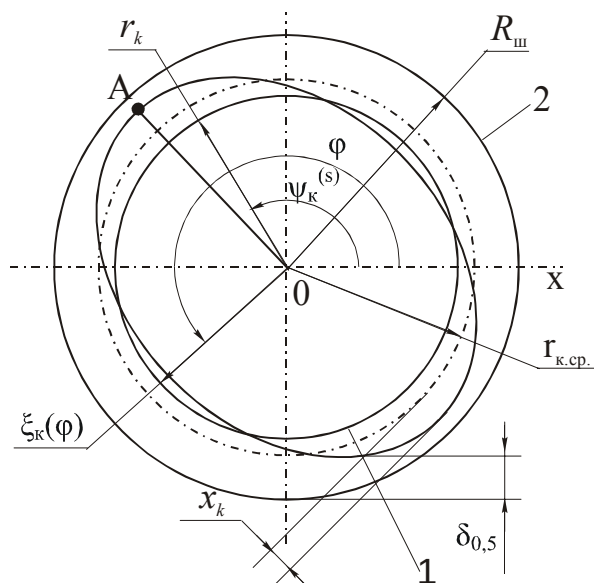


Рис. 1. Розміри шийки осі колісної пари з врахуванням похибки в поперечному перерізі: 1 – внутрішнє кільце підшипника; 2 – шийка осі колісної пари

У результаті статистичних досліджень, які були проведені на ВАТ «Дніпровагонрембуд» та у вагоноколісних майстернях (ВКМ) депо Батуринське Придніпровської залізниці, було встановлено, що середній радіус внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника буксового вузла вагона розподілений за нормальним законом (відповідність статистичного роз-

поділення з теоретичним законом за критерієм χ^2 Пірсона складає $p = 0,325$) (рис. 2).

Величина фазового кута ψ_k розподілена рівномірно в інтервалі від 0 до 2π , а амплітуда x_k похибки форми ξ_k – за законом Релея (рис. 3).

Числові характеристики розподілень параметрів зносу внутрішньої поверхні кільця наведено в табл. 1.

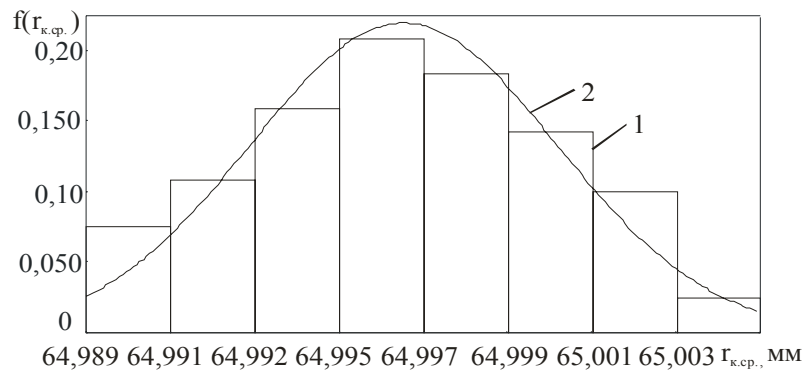


Рис. 2. Закони розподілення середнього радіуса $r_{k, \text{ср}}$:
1 – статистичний; 2 – теоретичний

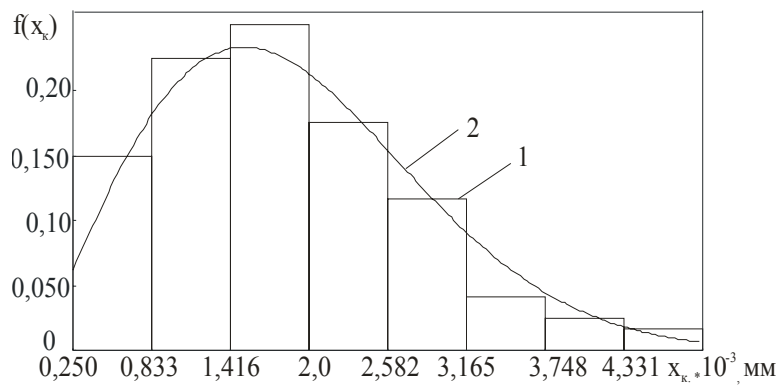


Рис. 3. Закони розподілення амплітуди відхилення x_k
1 – статистичний; 2 – теоретичний

Таблиця 1

Числові характеристики законів розподілення середнього радіуса $r_{k, \text{ср}}$, амплітуди відхилення x_k зносу внутрішнього кільця підшипника

Числові характеристики	Елементи похибки	
	Середній радіус $r_{k, \text{ср}}$, мм	Амплітуда відхилення x_k , мм
Математичне сподівання m , мм	64,9967	$1,89 \cdot 10^{-3}$
Дисперсія D , мм ²	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-6}$
Середньоквадратичне відхилення σ , мм	$3,523 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
Асиметрія As	$6,821 \cdot 10^{-3}$	0,6655
Ексцес Ex	-0,4575	0,273
Мода, мм	64,9974	$2,583 \cdot 10^{-3}$
Медіана, мм	64,9967	$1,75 \cdot 10^{-3}$

Виконавши відповідні перетворення [3] над законами розподілення середнього радіуса, амплітуди відхилення та фазовим кутом, отримаємо, що закон розподілення радіуса внутрішнього кільця підшипника є гауссовим з математичним сподівання $m_{\xi_k} = m_r = 64,9967$ мм і середньоквадратичним відхиленням

$$\sigma_{\xi_k} = \sqrt{\sigma_r^2 + \frac{m_{x_k}^2 + \sigma_{x_k}^2}{2}}. \quad (2)$$

Підставляючи у формулу (2) відповідні числові значення, отримаємо $\sigma_{\xi_k} = 3,6 \cdot 10^{-3}$ мм.

Визначимо імовірність того, що поточний розмір кільця $\xi_k(\varphi)$, тобто радіус отвору внутрішнього кільця, буде знаходитися у заданих межах поля допуску деповського ремонту, який дорівнює (64,9725...64,9935 мм), що встановлюється натягом нерухомого з'єднання та інструкцією [5]:

$$P(\alpha \leq X < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dX, \quad (3)$$

де α, β – межі області імовірності входження випадкової величини в неї.

$$P[64,9725 < \xi_k(\varphi) < 64,9935] =$$

$$= \int_{64,9725}^{64,9935} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,00384} \exp \left[-\frac{(\xi_k - 64,9967)^2}{2 \cdot 0,00384^2} \right] \times \\ \times d\xi_k = 0,2.$$

Отже, лише 20 % кілець підшипників будуть задовольняти умови натягу при деповському ремонті ПРЗ, коли проводиться повний огляд колісної пари.

Статистичні дослідження зносу шийки осі колісних пар вагонів дозволили встановити, що її середній радіус $R_{ш}$ підпорядкований закону нормального розподілення (рис. 4) з імовірністю $p = 0,16$ за критерієм χ^2 Пірсона.

Амплітуда $x_{ш}$ відхилення від середнього радіусу розподілена за законом Релея (рис. 5) з імовірністю $p = 0,21$ за критерієм χ^2 Пірсона.

Початкова фаза $\psi_{ш}$ розподілена за рівномірним законом. Числові характеристики законів розподілення величин, що характеризують знос шийки осі колісної пари з врахуванням овальності наведено в табл. 2.

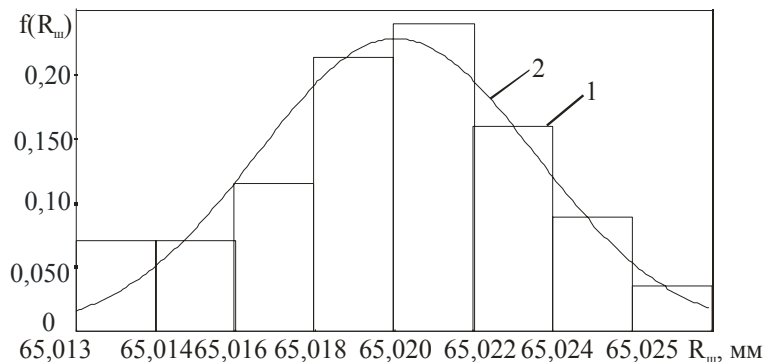


Рис. 4. Закони розподілення середнього радіуса $R_{ш}$

1 – статистичний; 2 – теоретичний

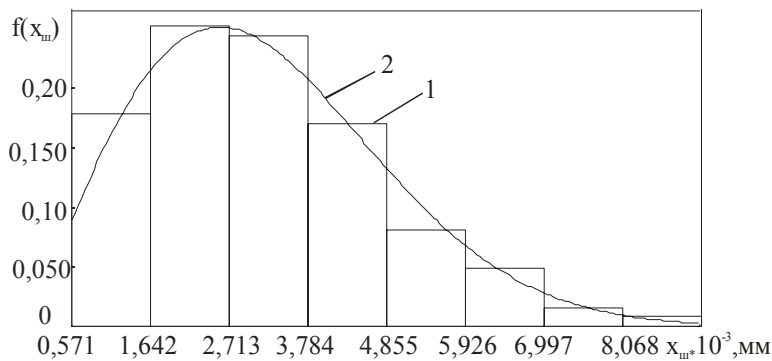


Рис. 5. Закони розподілення амплітуди відхилення $x_{ш}$

1 – статистичний; 2 – теоретичний

Числові характеристики законів розподілення середнього радіуса $r_{ш,ср}$ амплітуди відхилення $x_{ш}$ зносу внутрішнього кільця підшипника

Числові характеристики	Елементи похибки	
	Середній радіус $r_{к,ср}$, мм	Амплітуда відхилення x_k , мм
Математичне сподівання m , мм	65,0199	$3,16 \cdot 10^{-3}$
Дисперсія D , мм ²	$1,006 \cdot 10^{-5}$	$3,145 \cdot 10^{-6}$
Середньоквадратичне відхилення, σ , мм	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$1,707 \cdot 10^{-3}$
Асиметрія As	-0,221	0,8325
Ексцес Ex	-0,211	0,4707
Мода, мм	65,0167	$3,285 \cdot 10^{-3}$
Медіана, мм	65,02	$2,857 \cdot 10^{-3}$

За методикою, яка була викладена вище встановлюємо, що закон розподілення полярного радіуса $\xi_{ш}$ є гаусовим з математичним сподіванням $m_{\xi} = m_R = 65,0199$ мм і середньоквадратичним відхиленням за (2), $\sigma_{\xi_{ш}} = 0,0226$ мм.

Імовірність того, що розміри шийки осі колісної пари будуть знаходитися у межах заданого поля допуску, який встановлено нормативною документацією [5] у межах (65,005...65,026) буде дорівнювати:

$$P(65,005 < \xi_{ш}(\varphi) < 65,026) = \int_{65,005}^{65,026} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,00317} \exp \left[-\frac{(\xi_{ш} - 65,0199)^2}{2 \cdot 0,00317^2} \right] \times d\xi_{ш} = 0,351.$$

Таким чином, при повному огляді в депо лише 35,1 % шийок осей вагонів задовольняють умови натягу.

З практичної точки зору цікавим є також натяг δ нерухомого з'єднання «шийка осі колісної пари – внутрішнє кільце підшипника», який значно впливає на міцність пресового з'єднання і який можна записати як:

$$\delta = D - d, \quad (4)$$

де D – діаметр шийки осі колісної пари; d – внутрішній діаметр внутрішнього кільця підшипника.

Виконавши відповідні перетворення законів розподілення поточного радіусу шийки осі та кільця підшипника згідно з методикою, яка була викладена у роботі [3], отримаємо густину

імовірності натягу нерухомого з'єднання «шийка осі колісної пари – внутрішнє кільце підшипника», за формулою:

$$f(\delta_{ов}) = \frac{1}{2\sigma_{0,5}^{ов} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{\left(\frac{\delta_{ов}}{2} - m_{0,5}^{ов} \right)^2}{2(\sigma_{0,5}^{ов})^2} \right], \quad (5)$$

де математичне сподівання натягу нерухомого з'єднання, що визначається як

$$m_{0,5}^{ов} = m_{Rш} - m_{rk} = 65,0199 - 64,997 = 0,0232 \text{ мм},$$

а $\sigma_{0,5}^{ов}$ середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{0,5}^{ов} = \sqrt{\sigma_{Rш}^2 + \sigma_{rk}^2} = \sqrt{0,0226^2 + 0,003836^2} = 0,02296 \text{ мм}.$$

Імовірність того, що натяг нерухомого з'єднання буксового вузла вагона залишиться у межах поля допуску (0,03...0,065) за виразом (3) дорівнює:

$$P(0,03 < \delta_{ов} < 0,065) = \int_{0,03}^{0,065} \frac{1}{2\sqrt{2\pi} \cdot 0,02296} \times \exp \left[-\frac{\left(\frac{\delta_{ов}}{2} - 0,0232 \right)^2}{2 \cdot 0,02296^2} \right] d\delta_{ов} = 0,297.$$

Ця величина показує, що при повному огляді під час проведення ПРЗ лише 29,7 % буксових вузлів будуть мати натяг, який задовольняє вимоги нормативної документації. Графіки закону розподілення величини натягу нерухомого з'єднання буксового вузла вагонів з визначеними межами робочої зони зображено на рис. 6.

Крім зазначеного вище у нормативній документації також встановлені норми допусків і на конусність деталей з'єднання. Отже, в процесі наших досліджень виникає необхідність у визначенні параметричної надійності деталей нерухомого з'єднання буксового вузла з врахуванням конусності.

Рівняння похибки циліндричної деталі з врахуванням конусності та колом у поперечному перерізі (рис. 7) можна записати так [4, 6]:

$$\xi(z) = r_{cp} + \alpha \cdot \left(z - \frac{L}{2} \right), \quad (6)$$

де

$$\alpha = \operatorname{tg}(\beta) = \frac{r_0 - r_L}{L}$$

це кут, який визначає конусність деталі (коефіцієнт конусності); L – довжина циліндричної деталі; r_{cp} – радіус середнього циліндра, що визначається як

$$r_{cp} = \frac{r_0 + r_L}{2},$$

де r_0 і r_L – радіуси середніх кіл даної деталі, проведених через профілі початкового ($z = 0$) і кінцевого ($z = L$) поперечних перерізів.

Радіус середнього циліндра r_{cp} внутрішньої поверхні внутрішнього кільця розподілений за нормальним законом (рис. 8) з імовірністю $p = 0,405$ за критерієм χ^2 Пірсона.

Коефіцієнт конусності α розподілений за нормальним законом з імовірністю $p = 0,377$ за критерієм χ^2 Пірсона (рис 9).

Числові характеристики законів розподілення параметрів, які характеризують похибку конусності деталі наведено в табл. 3.

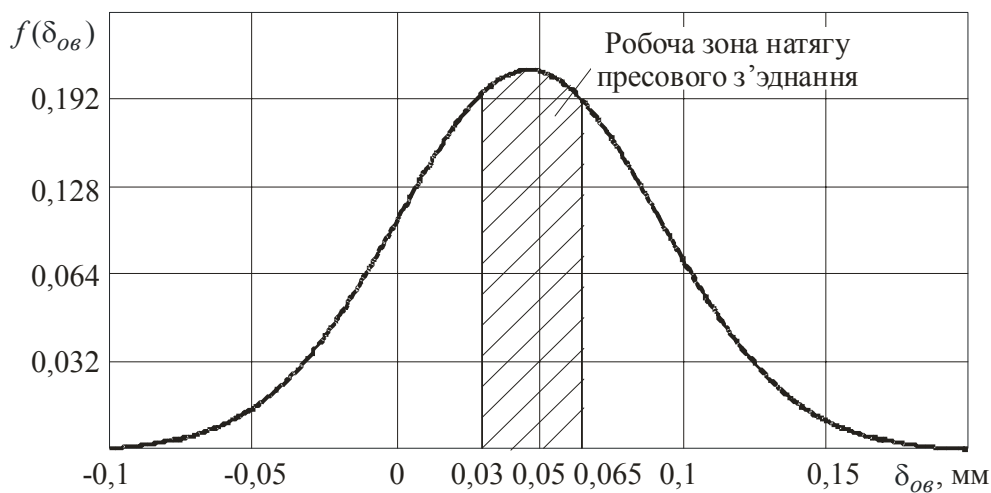


Рис. 6. Графік розподілення величини натягу нерухомого з'єднання $\delta_{ов}$

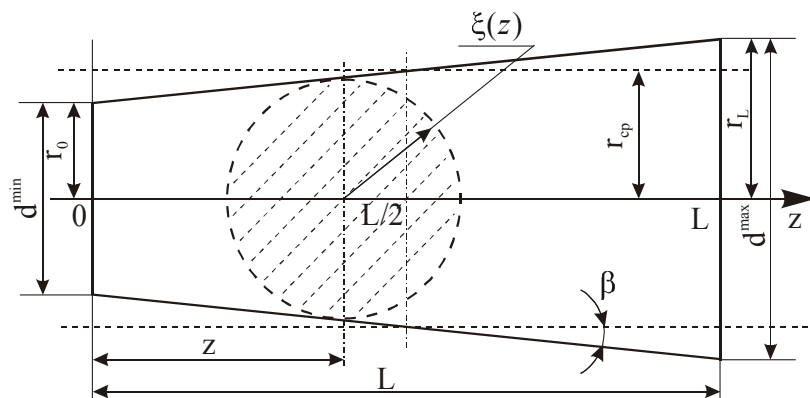


Рис. 7. Похибки розміру циліндричної деталі з врахуванням конусності

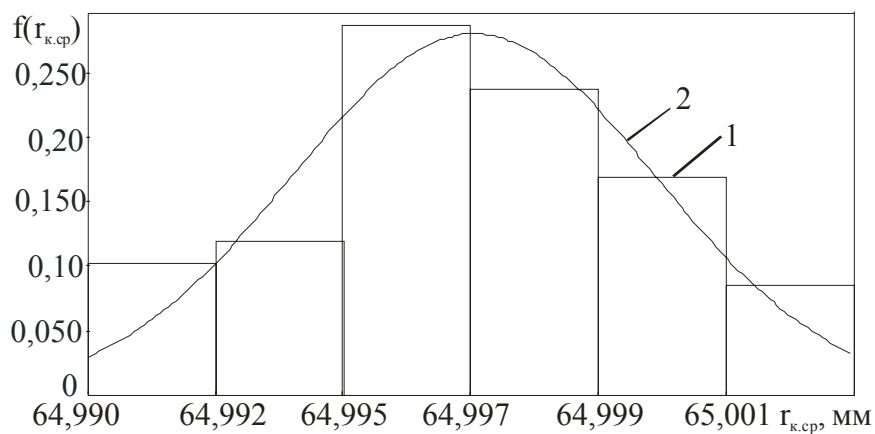


Рис. 8. Закони розподілення середнього радіуса $r_{к,ср}$:

1 – статистичний; 2 – теоретичний

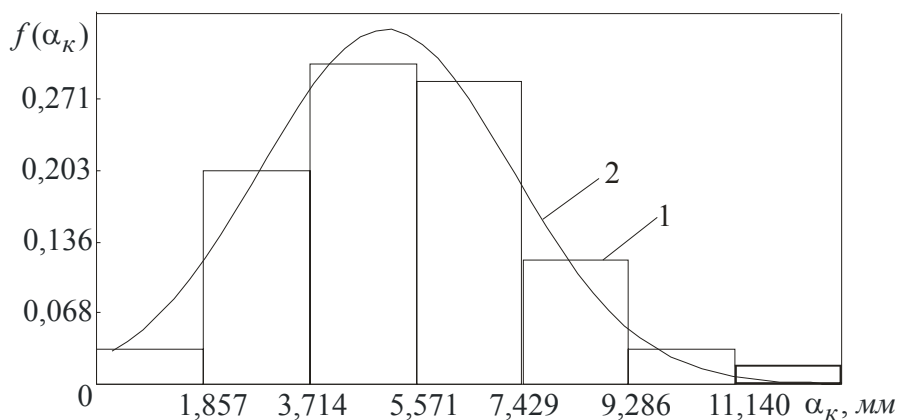


Рис. 9. Закони розподілення коефіцієнта конусності α_k :

1 – статистичний; 2 – теоретичний

Таблиця 3

**Числові характеристик законів розподілення середнього радіуса $r_{к,ср}$,
коефіцієнту конусності α зносу внутрішнього кільця підшипника**

Числові характеристики	Елементи похибки	
	Середній радіус $r_{к,ср}$, мм	Коефіцієнт конусності α_k
Математичне сподівання m	64,9968	$5,05 \cdot 10^{-5}$
Дисперсія D	$1,01 \cdot 10^{-5}$	$4,81 \cdot 10^{-10}$
Середньоквадратичне відхилення, σ	$3,175 \cdot 10^{-3}$	$2,19 \cdot 10^{-5}$
Асиметрія As	-0,1575	0,4495
Ексцес Ex	-0,312	0,051
Мода	65,0006	$3,75 \cdot 10^{-5}$
Медіана	64,996	$5 \cdot 10^{-5}$

Для визначення закону розподілення повної похибки ξ циліндричної деталі зафіксуємо значення аргументу z . Оскільки розрахунки ве-

личини ξ циліндричної деталі з врахуванням конусності ведуться відносно середнього радіуса $r_{ср}$, а його значення розташовано в координ-

наті $L/2$, то значення аргументу візьмемо рівним $z = L/2$. Тоді вираз похибки циліндричної деталі набирає вигляду:

$$\xi_k \left(\frac{L}{2} \right) = r_{cp} + \alpha \left(\frac{L}{2} - \frac{L}{2} \right) = r_{cp}. \quad (7)$$

Даний вираз показує, що при дослідженнях зносу циліндричних деталей слід обмежитися розрахунками лише середнього радіуса. Врахувавши це, отримаємо закон розподілення похибки розміру внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника ξ_k , який є гауссовим з числовими характеристиками наведеними у табл. 3. Тоді, імовірність того, що поточний розмір $\xi_k(z)$ кільця за (3) буде знаходитися у межах заданого поля допуску (64,9725...64,9935), які визначаються натягом нерухомого з'єднання [5], дорівнює:

$$\begin{aligned} P[64,9725 < \xi_k(z) < 64,9935] = \\ = \int_{64,9725}^{64,9935} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot 3,17 \cdot 10^{-3}}} \times \\ \times \exp \left[-\frac{(\xi_k - 66,99681)^2}{2(3,17 \cdot 10^{-3})^2} \right] d\xi_k = 0,149. \end{aligned}$$

У інструкції [5] встановлено норми конусності $k = 0,0125$ мм, яка виражена у різниці діаметрів двох перерізів як:

$$k = d^{\max} - d^{\min}, \quad (8)$$

де $d^{\max}$, $d^{\min}$ – середній діаметр відповідно великого та малого перерізів.

З цієї величини визначаємо норми на коефіцієнт конусності α за формулою:

$$\alpha = \frac{k}{2L} = \frac{0,0125}{2 \cdot 80} = 7,81 \cdot 10^{-5}. \quad (9)$$

Ця величина визначає максимальне значення коефіцієнта конусності, при якому кільце ще вважається придатним до експлуатації. Визначимо імовірність того, що коефіцієнт конусності буде знаходитися в межах працездатності

$$\begin{aligned} P(0 < \alpha_k < 7,81 \cdot 10^{-5}) = \\ = \int_0^{7,81 \cdot 10^{-5}} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot 2,19 \cdot 10^{-5}}} \times \\ \times \exp \left[-\frac{(\alpha_k - 5,05 \cdot 10^{-5})^2}{2 \cdot (2,19 \cdot 10^{-5})^2} \right] d\alpha_k = 0,886. \end{aligned}$$

Отже, 88,6 % кілець мають величину коефіцієнта конусності, яка задовольняє вимоги нормативних документів.

Дослідження шийки осі колісної пари показало, що радіус середнього циліндра $R_{ш}$ розподілений за нормальним законом (рис. 10) з імовірністю $p = 0,24$ за критерієм χ^2 Пірсона.

Коефіцієнт конусності шийки осі розподілений за логарифмічним нормальним законом (рис. 11) з імовірністю $p = 0,21$ за критерієм χ^2 Пірсона:

$$f(\alpha_{ш}) = \frac{1}{\alpha_{ш} \sigma_{\ln \alpha} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln \alpha_{ш} - m_{\ln \alpha})^2}{2\sigma_{\ln \alpha}^2} \right], \quad (10)$$

де $m_{\ln \alpha}$ – середнє статистичне випадкової величини $\ln \alpha_{ш}$; $\sigma_{\ln \alpha}^2$ – дисперсія випадкової величини $\ln \alpha_{ш}$.

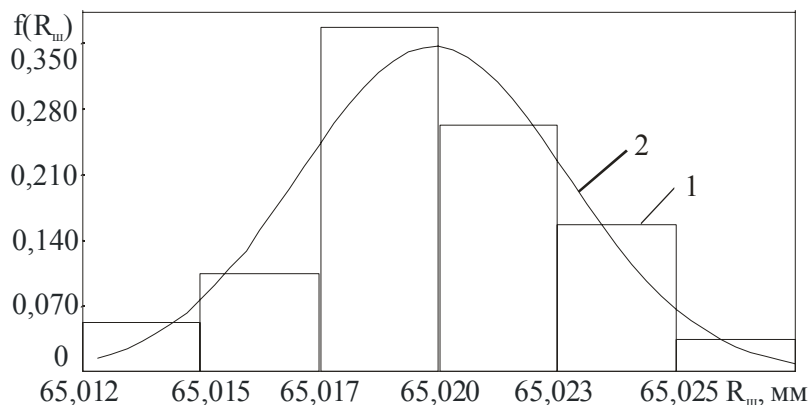


Рис. 10. Закони розподілення радіуса середнього циліндра $R_{ш}$

1 – статистичний; 2 – теоретичний

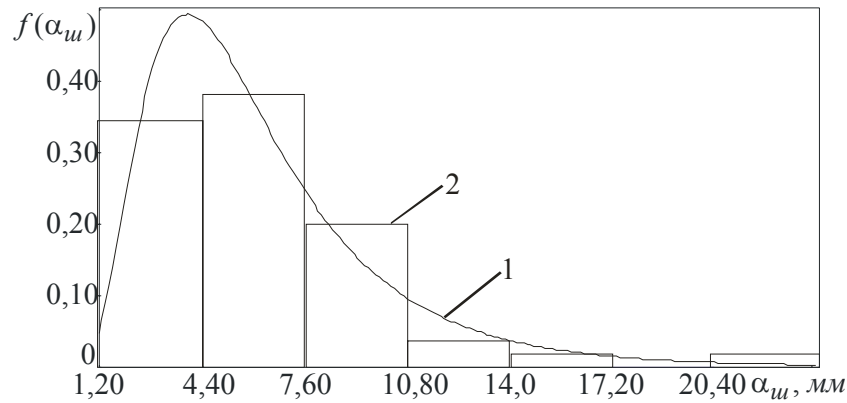


Рис. 11. Закони розподілення коефіцієнта конусності $\alpha_{\text{ш}}$:

1 – статистичний; 2 – теоретичний

Числові характеристики законів розподілення радіусу середнього циліндра $R_{\text{ш}}$ та коефіцієнта конусності $\alpha_{\text{ш}}$ наведено в табл. 4.

Враховуючи те, що розрахунок конусності деталей ведеться відносно середнього радіусу

у точці $z = L/2$ (пояснення до формули (7)) маємо, що закон розподілення поточного розміру шийки осі колісної пари $\xi_{\text{ш}}(z)$ є нормальним з числовими характеристиками для радіуса середнього циліндра $R_{\text{ш}}$ (табл. 4).

Таблиця 4

Числові характеристики законів розподілення середнього радіуса $R_{\text{ш}}$, коефіцієнту конусності $\alpha_{\text{ш}}$ зносу внутрішнього кільця підшипника.

Числові характеристики	Елементи похибки	
	Середній радіус, $R_{\text{ш}}$, мм	Коефіцієнт конусності $\alpha_{\text{ш}}$
Математичне сподівання m	65,0199	$6,227 \cdot 10^{-5}$
Дисперсія D	$9 \cdot 10^{-6}$	$1,457 \cdot 10^{-9}$
Середньоквадратичне відхилення, σ	$3 \cdot 10^{-3}$	$3,817 \cdot 10^{-5}$
Асиметрія A_s	-0,2569	2,007
Ексцес E_x	-0,073	6,971
Мода	65,0198	$3,75 \cdot 10^{-5}$
Медіана	65,0198	$5 \cdot 10^{-5}$

Тоді імовірність того, що поточний розмір не перевищує норми для ремонту шийки осі колісної пари (65,005...65,026) [5] визначимо за (3) як:

$$P[65,005 < \xi_{\text{ш}}(z) < 65,026] = \int_{65,005}^{65,026} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \exp \left[-\frac{(\xi_{\text{ш}} - 65,0199)^2}{2(3 \cdot 10^{-3})^2} \right] d\xi_{\text{ш}} = 0,979.$$

Для шийки осі колісної пари величина $k_{\text{ш}} = 0,02$ мм. Підставивши значення $k_{\text{ш}}$ та довжину шийки $L_{\text{ш}}$ у (9) маємо, що

$$\alpha_{\text{ш}}^{\text{max}} = 1,25 \cdot 10^{-4}.$$

Тоді імовірність того, що коефіцієнт конусності $\alpha_{\text{ш}}$ залишиться у межах, які визначають працездатність шийки за (3), дорівнює:

$$P(0 < \alpha_{\text{ш}} < 1,25 \cdot 10^{-4}) = \int_0^{1,25 \cdot 10^{-4}} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,556} \times \exp \left\{ -\frac{[\ln \alpha_{\text{ш}} - (-9,821)]^2}{2 \cdot 0,556^2} \right\} d\alpha_{\text{ш}} = 0,933.$$

Таким чином, 93,3 % шийок осей колісних пар задовольняють вимоги нормативної документації щодо утримання та ремонту рухомого складу залізниць.

За методикою, яка викладена в [3], підставляючи закони розподілення поточних розмірів ξ_k та $\xi_{ш}$ у формули для визначення натягу та виконавши відповідні перетворення, визначаємо закон розподілення та параметричну надійність величини натягу $\delta_{кон}$ з врахуванням конусності кільця підшипника та шийки осі колісної пари. Густина імовірності натягу $\delta_{кон}$ визначається за формулою:

$$f(\delta_{кон}) = \frac{1}{2\sigma_{0,5}^{кон} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{\left(\frac{\delta_{кон}}{2} - m_{0,5}^{кон} \right)^2}{2(\sigma_{0,5}^{кон})^2} \right], \quad (11)$$

де математичне сподівання натягу нерухомого з'єднання дорівнює

$$\begin{aligned} m_{0,5}^{кон} &= m_{Rш} - m_{rk} = \\ &= 65,0199 - 64,997 = 0,0231 \text{ мм}, \end{aligned}$$

а середньоквадратичне відхилення –

$$\begin{aligned} \sigma_{0,5}^{кон} &= \sqrt{\sigma_{Rш}^2 + \sigma_{rk}^2} = \\ &= \sqrt{(3 \cdot 10^{-3})^2 + (3,175 \cdot 10^{-3})^2} = 4,368 \cdot 10^{-3} \text{ мм}. \end{aligned}$$

Імовірність того, що натяг нерухомого з'єднання залишиться в заданих межах поля допуску (0,03...0,065) визначимо за формулою (3):

$$\begin{aligned} P(0,03 < \delta_{кон} < 0,065) &= \\ &= \int_{0,03}^{0,065} \frac{1}{2\sqrt{2\pi} 4,365 \cdot 10^{-3}} \times \\ &\times \exp \left[-\frac{\left(\frac{\delta_{кон}}{2} - 0,02308 \right)^2}{2(4,365 \cdot 10^{-3})^2} \right] d\delta_{кон} = 0,952. \end{aligned}$$

Отже, якщо враховувати тільки конусність спряжених поверхонь деталей пресового з'єднання буксового вузла вагонів, то 95,2 % з'єднань будуть придатними до подальшої експлуатації.

Графіки закону розподілення величини натягу з визначеними межами працездатності зображено на рис. 12.

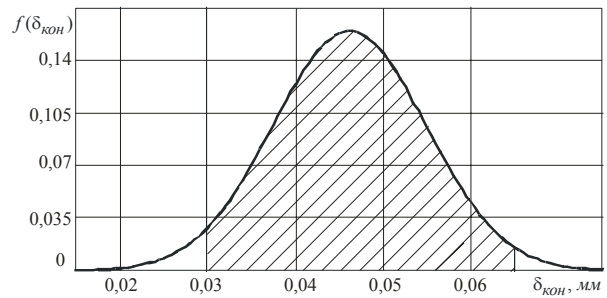


Рис. 12. Графік розподілення величини натягу $\delta_{кон}$ нерухомого з'єднання

На величину похибки натягу нерухомого з'єднання у межах (0,03...0,065) для вузла, який знаходиться на ПРЗ, впливає як овальність, так і конусність деталей. Таким чином, виникає необхідність у визначенні поточного розміру циліндричної поверхні, похибка якої одночасно є функцією двох більш простих похибок: овальності та конусності.

У цьому випадку поточний розмір циліндричної деталі визначається так:

$$A(\varphi, z) = r_{cp} + A(\varphi, z) \cos(k \cdot \varphi + \psi_k^{(s)}), \quad (12)$$

де залежність похибки форми $A(\varphi, z)$:

$$A(\varphi, z) = x_k \cos(k \cdot \varphi + \psi) + \alpha \left(z - \frac{L}{2} \right). \quad (13)$$

У цьому виразі $x_k \cos(k \cdot \varphi + \psi)$ це похибка форми у поперечному, а $\alpha \left(z - \frac{L}{2} \right)$ – у поздовжньому перерізах. Відхилення від радіуса середнього циліндра в поперечному перерізі набирає своє найбільше значення x_k якщо $\cos(k \cdot \varphi + \psi) = 1$. Оскільки дослідження конусних деталей ведуться відносно точки $z = \frac{L}{2}$, то вираз (13) набирає вигляд:

$$A(\varphi, z) = x_k. \quad (14)$$

Отже, максимальна похибка форми циліндричної деталі дорівнює амплітуді відхилення форми у поперечному перерізі. Враховуючи вищезазначене, вираз (12) набирає такий вигляд:

$$\xi(\varphi, z) = r_{cp} + x_k \cdot \cos(k \cdot \varphi + \psi_k^{(s)}). \quad (15)$$

Таким чином, дослідження циліндричної деталі, яка має одночасно похибки форми у поперечному та поздовжньому перерізах, зводяться до визначення параметричної надійності цієї деталі з врахуванням овальності. Це підтверджується також тим, що імовірність входження натягу нерухомого з'єднання буксового вузла у межі допуску (0,03...0,065), при врахуванні тільки овальності складає 0,297, що значно менше від імовірності входження натягу у межі допуску, при врахуванні тільки конусності, яка дорівнює 0,952. Тобто вплив овальності на надійність з'єднання з натягом більш значний ніж конусності.

Визначення параметричної надійності нерухомої системи буксового вузла вантажних вагонів з врахуванням конусності спряжених поверхонь показало, що більше 90 % кілець підшипників та шийок осей колісних пар цього виду рухомого складу залізниць задовольняють вимоги нормативної документації. Вплив конусності деталі на поточний розмір циліндричних деталей спряження незначний у порівнянні з овальністю. Тому для визначення параметричної надійності нерухомого з'єднання даного вузла слід обмежитися лише похибкою від овальності поверхонь спряження.

Аналіз зносу нерухомого з'єднання буксового вузла рухомого складу залізниць у даній роботі та у роботах [2; 3; 4; 7] показав необхідність розв'язання проблеми відновлення зношених кілець. Нами запропонована технологія електролітичного осадження цинку на зношену поверхню отвору кільця підшипника імпульсно-реверсивним струмом [2; 7; 8], яка має ряд значних переваг у порівнянні з осадженням цинку на постійному струмі. Лабораторні аналізи твердості та морфології покриття показали, що осадки, які отримані в нестационарних режимах, характеризуються більшою однорідністю, мають більш дрібнозернисту та щільну структури, що дозволяє досягати товщини відновлювального шару 300...400 мкм із збереженням мікротвердості 800...900 МПа. Випробування міцності пресового з'єднання, які проведені на масштабних зразках, дозволили встановити, що у

порівнянні із зразками, на які не був осаджений шар цинку, міцність зросла в 2,5–3 рази.

Подальшим етапом досліджень є випробування міцності пресового з'єднання на натурних зразках та їх експлуатаційні випробування на рухомому складі в умовах Придніпровської залізниці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Федюшин О. М. К проблеме обновления подвижного состава железных дорог Украины / О. М. Федюшин, О. Е. Пашенко, В. И. Букин // Залізничний транспорт України. – 2001, – № 2 – С. 7–10.
2. Михаліченко П. Є. Відновлення натягу пресового з'єднання буксових вузлів рухомого складу залізниць / П. Є. Михаліченко, М. О. Костін // Залізничний транспорт України. – 2004, – № 5 – С. 47–49
3. Михаліченко П. Є. Параметрична надійність нерухомого з'єднання буксового вузла рухомого складу з врахуванням некруглості / П. Є. Михаліченко, М. О. Костін // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 6.
4. Михаліченко П. Є. Параметрична надійність з'єднання з гарантованим натягом рухомого складу з врахуванням конусності // Залізничний транспорт України. – 2005.
5. Инструктивные указания по эксплуатации и ремонту вагонных букс с роликовыми подшипниками. – М.: Транспорт, 1976. – 135 с.
6. Точность производства в машиностроении и приборостроении / Под. ред. А. Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
7. Костін М. О. Математична модель форми зношених деталей системи спряження «шийка осі колісної пари – внутрішнє кільце підшипника» / М. О. Костін, П. Є. Михаліченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2005.
8. Михаліченко П. Є. Методы восстановления натяга узла «шейка колесной пары – внутреннее кольцо подшипника» // Материалы IV международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электроподвижного состава». – Новочеркасск, 2003. – С. 183–184.

Надійшла до редколегії 03.11.2005.

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «РЕРК» – ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПІДБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕТИНІВ ЕЛЕМЕНТІВ І ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ ПРОГІННИХ БУДОВ МОСТІВ

Наведена інформація про розроблений програмний комплекс для розрахунку нових і класифікації існуючих металевих прогінних будов залізничних мостів.

Представлена информация о разработанном программном комплексе для расчета новых и классификации существующих металлических пролетных строений железнодорожных мостов.

Information about the developed programmatic complex for the calculation of new and classification of existent metallic flight structures of railway bridges is resulted.

Металеві прогінні будови мостів, що знаходяться в експлуатації на залізницях України, запроектовані згідно з різними нормативними документами, відповідних рівню розвитку галузі на певному етапі. Робота мостових конструкцій в умовах багатоповторюваних динамічних дій рухомого складу протягом 50 і більше років, суттєве збільшення швидкостей руху і навантажень призвели до того, що сьогодні близько 14 % прогінних будов вимагають негайного проведення ремонтних робіт, а 2 % підлягають заміні.

Технічний стан прогінних будов залежить від наявності дефектів і ступеня розвитку дефектів. Визначається він за основними показниками:

- вантажопідйомністю (класом розрахункових навантажень);
- довговічністю (очікуваним залишковим ресурсів в роках);
- надійністю (здатністю виконувати задані функції із забезпеченням встановлених експлуатаційних показників у встановлених межах, відповідних режимам експлуатації, технічного обслуговування, проведення ремонтних робіт і збереження безпечного і комфортного руху по споруді).

Визначення вантажопідйомності елементів необхідно здійснювати в періоди нормальної експлуатації і активного зносу. Своєчасне виконання підсилення, ремонтних робіт або заміни дефектних елементів є гарантією нормальної експлуатації прогінних будов мосту.

При оцінці технічного стану прогінних будов можна використовувати два незалежні під-

ходи: діагностувати елементи прямими методами, заснованими на аналізі інформації про конкретну прогінну будову з використанням математичних і фізичних моделей; або діагностувати їх за непрямыми показниками з використанням статистичних даних і ухваленням рішення з певною часткою ймовірності.

Перспективними методами оцінки надійності і прогнозування ресурсу мостових конструкцій є група методів механіки руйнування в сукупності з інтегральними методами, які передбачають наявність даних про механічні властивості матеріалів, дефекти і пошкодження (координати їх розташування, форма, розміри), швидкість можливого їх розвитку і напруженого стану в довколишній ділянці. Такі дані сьогодні можна отримати за допомогою методів акустичної емісії, широко впроваджуваних при діагностиці металовиробів як в нашій країні, так і за її межами.

Для прогнозування відмов можливе застосування стохастичних (недетермінованих) моделей, які дають оцінку вірогідності подальшого функціонування прогінної будови. Альтернативою є використання ЕОМ на підставі детермінованих математичних моделей, що дозволяють одержати міцнісні параметри елементів прогінної будови при заданих геометричних параметрах і зовнішніх впливах. Перевагою математичного моделювання є можливість дослідження роботи прогінних будов за будь-яких заданих умов експлуатації. Розрахунки на ЕОМ дозволяють моделювати можливі зміни напружено-деформованого стану елементів і зовнішнього навантаження і визначати клас елемента за вантажопідйомністю. Розрахунки можна засновувати як на матеріа-

лах натурального обстеження, так і на припущеннях розвитку дефектів та пошкоджень з відомим рівнем ймовірності. В умовах значної різноманітності матеріалів і конструктивних форм металевих прогінних будов, неповних статистичних даних про вантажонапруженість ділянок залізниць, на яких вони експлуатуються, забезпечення заданої вантажопідйомності можна вважати єдиним критерієм оцінки надійності. Зниження класу прогінної будови нижче встановленої величини вважатиметься відмовою.

Вантажопідйомність прогінних будов з урахуванням змін в режимі експлуатації і можливих пошкоджень елементів прийнято визначати способом класифікації [1; 2]. При цьому для кожного несучого елемента визначається значення максимального тимчасового вертикального рівномірно розподіленого навантаження, вплив якого безпечний для прогінної будови. Відмінності в умовах експлуатації обумовлюють необхідність виконання розрахунків для кожної прогінної будови, незалежно від належності до будь-якої серії типових конструкцій. Застосування ЕОМ дає можливість формування банку даних про металеві прогінні будови, що містить як їх проектні характеристики, так і відомості про пошкодження, тріщини, зміни міцності матеріалу, а також про технічні рішення щодо підсилення або заміни елементів при виявлених дефектах і пошкодженнях, що є однією з актуальних задач.

У ГНДЛ ШС в 2000 р. була створена база даних про стан металевих прогінних будов на залізницях України. До електронних таблиць внесені відомості про схеми мостів, основні відмітки, розрахункові норми, за якими вони були запроектовані, матеріал прогінних будов. Відображені також всі зміни, яких зазнав міст за період експлуатації: проведення підсилень (рік, матеріал, елемент), заміни прогінних будов.

База даних про технічний стан і вантажопідйомність прогінних будов дозволить встановлювати терміни проведення ремонтних робіт і полегшить управління режимом експлуатації прогінних будов на залізницях країни. На рішення цієї задачі направлений програмний комплекс «Розрахунок Елементів, Підлеглих Корозії» – «РІПКА».

Програмний комплекс дозволяє виконувати розрахунки нових прогінних будов відповідно до норм [3], класифікувати елементи існуючих прогінних будов з урахуванням пошкоджень,

які виникли в процесі експлуатації, і оцінювати ефективність здійсненого підсилення.

Для виконання розрахунків необхідно створити файл нової конструкції і задати її параметри. При цьому можливе застосування даних з раніше сформованих блоків.

При завданні вихідних даних передбачена максимальна зручність користувача – введення даних у діалоговому режимі, можливість їх корегування.

Блок «Матеріали» передбачає введення назви матеріалу, розрахункових опорів і коефіцієнта надійності за матеріалом.

При розрахунку нових конструкцій розрахункові опори приймають по СНиП.

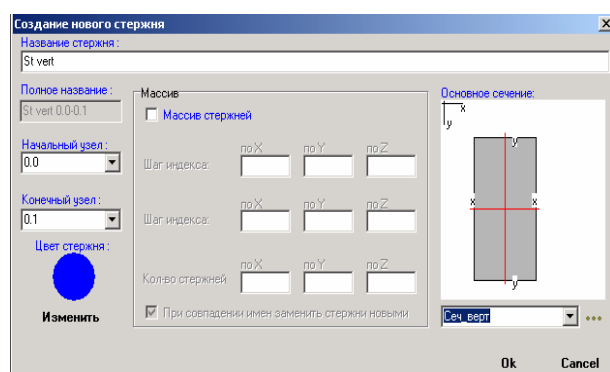
При класифікації експлуатованих прогінних будов необхідно враховувати основні розрахункові опори, відповідні часу їх виготовлення: для зварювального заліза 160 МПа, для литого заліза 185 МПа (видавливки до 1906 р.) або 190 МПа (після 1906 р.), для Ст3 – 190 МПа.

Блок «Конструкторський набір» містить геометричні розміри листового і фасонного прокату (кутників) і посилання на матеріал, з якого вони виконані.

Можливе використання елементів з довільними параметрами (які не відповідають ГОСТу), при цьому автоматично обчислюються геометричні характеристики – площа, моменти інерції, положення нейтральних осей. Передбачена різна просторова орієнтація кутків у складі перерізу, що автоматично враховується при формуванні стрижнів.



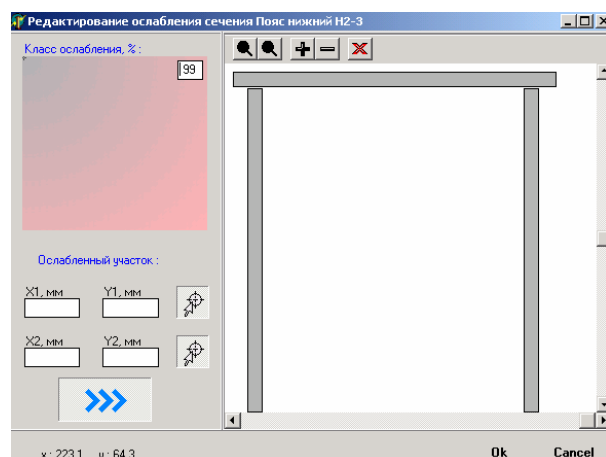
Блок «Сечения» формується на підставі конструкторського набору профілів стрижнів.



Передбачена можливість використання стрижнів змінного перетину і урахування ослаблень, які задаються прямокутними полігонами.

Із заданих елементів формується конструкція прогінної будови у формі векторної схеми: задаються координати і назви вузлів (масивів вузлів), стрижні (початковий і кінцевий вузол, тип перетину) і закріплення (опори). Для конс-

трукції задаються тип і інтенсивність навантаження, обирається тип розрахунку.



Розрахунок конструкцій виконується модифікованим методом кінцевих елементів з використанням механізмів чисельної інтеграції. Геометричні характеристики розраховуються, як чисельні функції існуючого перетину елемента. Кількість перерізів пропорційно прийнятому кроку інтеграції; для високої точності розрахунків достатньо прийняти крок інтеграції, відповідний 0,1 % довжини найкоротшого стрижня. Чисельна модель конструкції, що розраховується, складається з сукупності ділянок, для кожного з яких визначене навантаження, розраховані геометричні характеристики і складена векторна схема. Жорсткості елементів розраховуються автоматично при формуванні чисельної моделі системи.

Результати розрахунку за вибором користувача можуть бути наведені у вигляді графіків або текстових документів – звітів про напруги, зусилля і деформації в елементах (класів елементів при виконанні класифікації).

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
2. ГСТУ 32.6.03.111-2002. Експлуатація залізничних мостів. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів. – К., 2003. – 380 с.
3. СНиП 2.05.03 – 84*. Мосты и трубы. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 214 с.

Надійшла до редколегії 21.06.04.

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ З ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСІВ РУХОМОГО СКЛАДУ І УМОВ ЙОГО ПРОПУСКУ ПО МОСТАХ

Розглянуто зміст і структура програми «CARRIAGE», призначеної для визначення класів будь-якого рухомого складу, який обертається або планується до введення в обертання на залізничній мережі країн СНД і Балтії.

Рассмотрены содержание и структура программы «CARRIAGE», предназначенной для определения классов любого подвижного состава, обращающегося или планируемого к введению в обращение на железнодорожной сети стран СНГ и Балтии.

The work considers the contents and structure of the program “CARRIAGE” intended for determination of classes of any rolling-stock operated or planned for introduction into circulation on the railway network of CIS and Baltic countries.

В останні роки все більше розповсюдження отримують персональні електронні обчислювальні машини (ПЕОМ). Їх популярність зростає серед різних категорій користувачів. Впровадження ПЕОМ у виробничий процес дозволяє оперативно вирішувати різні практичні задачі, які пов'язані з визначенням умов подальшої експлуатації штучних споруд з метою забезпечення безпеки руху при пропуску по ним рухомого складу.

Однією із важливих задач поточного утримання і експлуатації залізничних мостів є задача визначення їх вантажопідйомності і порівняння несучої здатності споруд з класами рухомого складу.

Правила визначення вантажопідйомності металевих і залізобетонних мостів встановлюються вітчизняними нормативними документами [1; 2]. Правила визначення класів рухомого складу наведені в [1]. Для спрощення процедури визначення класів рухомого складу були створені таблиці для різних поїздів і спліток різних екіпажів [3; 4]. Такій підхід значною мірою спрощував проблему, але не дозволяв розв'язати її повністю. Треба мати на увазі той факт, що рухомий склад постійно удосконалюються і з'являються нові екіпажі з різним навантаженням на вісь, а це неможливо було передбачити при створенні таблиць [5]. Схеми формування поїздів теж можуть відрізнятися одна від одної, особливо у разі перевезення великих вантажів, і передбачити їх усі просто неможливо.

Повністю розв'язати проблему визначення класу рухомого навантаження можливо тільки при автоматизації розрахунків, що дозволить не тільки оперативно визначати вплив рухомого навантаження за будь-якою схемою на споруду

і уникнути помилок, як це має місце у деяких таблицях. З метою автоматизації розрахунків з визначення класів рухомого складу і умов його пропуску по металевим або залізобетонним прогінним будовам залізничних мостів співробітниками галузевих науково-дослідних лабораторій штучних споруд і колієвипробувальною ще у 1998 р. була розроблена програма, яка мала первісну назву «Railway». Після удосконалення вона у 2000 р. була перейменована в «CARRIAGE».

Для скорочення обсягів вводу первісної інформації, а також щоб уникнути помилок при вводі характеристик екіпажів під час виконання розрахунків, до складу програми як її невід'ємна частина увійшла база даних існуючого і перспективного рухомого складу, який обертася на залізничній мережі країн СНД і Балтії за станом на жовтень 1999 р. Враховуючи ті обставини, що Україна має розвинену гірничорудну і металургійну промисловість, до складу бази даних рухомого складу включений спеціальний рухомий склад, який використовують гірники і металурги. Крім того, у програмі передбачена можливість формування поїздів із будь-якого навантаження з введенням даних або з клавіатури ПЕОМ, або ж з бази даних рухомого складу.

При запуску програми перш за все з'являється заставка з назвою програми. Заставка змінюється текстом поради по відновленню функціонування програми при порушенні режимів її роботи або викривленні результатів розрахунку, а також попередженням про те, що у разі несанкціонованого копіювання результати розрахунків, які виконані із застосуванням цієї програми, будуть хибними.

Меню «**Вибір типу навантаження**» передбачає вибір таких навантажень.

Сплітка із типових екіпажів (з ввід із бази даних):

- сплітка із довільних екіпажів (з ввід інформації з клавіатури ПЕОМ);
- поїзд із будь-яких екіпажів (з ввід інформації із бази даних або клавіатури);
- транспортери, які рухаються з окремим локомотивом;
- розрахунок за обвідними еквівалентними навантаженнями і тип екіпажів;
- кінець роботи.

При виборі «сплітка із типових екіпажів (з ввід із бази даних)» програма перейде до вибору типу екіпажа. Програмою передбачені такі типи екіпажів:

- локомотиви;
- вантажні вагони;
- спеціальні вагони;
- рухомий склад промислових підприємств;
- транспортери;
- консольні крани.

Локомотиви у свою чергу поділяються на:

- електровози;
- магістральні тепловози;
- тепловози промислові та маневрові;
- паровози.

Вантажні вагони поділяються на:

- універсальні піввагони;
- криті вагони;
- перспективні вагони;
- універсальні платформи;
- цистерни для нафтопродуктів;
- вагони прикриття транспортерів.

До спеціальних вагонів віднесені:

- вагони-самоскиди і думпкари;
- цистерни промислового транспорту;
- вагони бункерного типу;
- хоппери.

Рухомий склад промислових підприємств поділяється на:

- тягові агрегати гірничо-збагачувальних комбінатів;
- вагони для перевезення розплавленого шлаку;
- чавуновози і міксери;
- візки для перевезення слябів;
- вагони металургів.

До бази рухомого складу занесені транспортери таких типів:

- платформні транспортери;
- площадочні транспортери;
- транспортери колодязного типу;
- зчіпні крайні платформи;

– зчіпні середні платформи;

– сполучені транспортери.

Залізничні консольні крани:

- у робочому стані;
- у транспортному положенні.

Із консольних залізничних кранів у транспортному і робочих положеннях, без вантажу і з вантажем до бази рухомого складу занесені: ГЭК-80, ГЭПК-130 і ГЭПК-130^у.

Внесення змін і доповнень у базу даних рухомого складу передбачається виконувати користувачем тими засобами, які передбачені програмою.

Після вибору типу і моделі рухомого складу вибирається «**Вид розрахунку**».

Програмою «Cargo» передбачені такі розрахунки:

- умови пропуску рухомого складу;
- тип екіпажа для поодинокого прогону;
- складання таблиці класів;
- нове рухоме навантаження або кінець роботи.

У разі вибору виду розрахунку «**умови пропуску рухомого складу**» вказується назва матеріалу прогінної будови: металеве або залізобетонне. Для залізобетонної прогінної будови вказуються:

- величина розрахункового прогону;
- товщина баласту на прогінній будові у випадку виконання розрахунків для залізобетонних прогінних будов;
- положення вершини лінії впливу;
- клас прогінної будови.

У програмі передбачається вивід результатів розрахунку: на екран монітору; на принтер; у файл; вивід закінчено (цей режим потрібен для продовження розрахунків або виходу із програми).

При виведенні результатів розрахунку на екран монітору з'являється таблиця з еквівалентними навантаженнями і класами екіпажу для введеної прогінної будови при положеннях вершини лінії впливу 0,00, 0,25 і 0,50. Нижче таблиці у прямокутнику вказується швидкість руху навантаження, яка рекомендується для цього екіпажу. Колір прямокутника може бути зеленим, жовтим або червоним і залежить від швидкості руху, що рекомендується.

При виводі результатів розрахунку на принтер необхідно вводити заголовок розрахунку.

При виведенні інформації в окремий файл з метою його використання у подальшому, необхідно вказати «ім'я файлу» і шлях до нього (диск, каталог, ім'я файлу і його розширення).

У разі, коли не вказується ім'я диска і директорія для запису файла, а тільки його ім'я, результати розрахунку будуть знаходитись у тому ж директорії, що і програма, у підкаталозі з базою даних рухомого складу.

Запис результатів розрахунку у файл або ж його виведення на друк відбувається у такому вигляді: під написом **«Тип рухомих навантажень»** розміщується назва розрахунку. Поряд з назвою розрахунку вказується день, місяць і рік, а також астрономічний час виконання розрахунку з точністю до хвилини. Нижче наводиться таблиця еквівалентних навантажень і тип екіпажа при положеннях вершин лінії впливу 0,00, 0,25 і 0,50.

У тому випадку, коли в меню **«Вибір типу навантажень»** вибирається «сплітка із будь-яких екіпажів (введення інформації з клавіатури)» запитується кількість осей екіпажа, навантаження на осі екіпажа і відстань між осями екіпажа. Введення відстаней між осями екіпажа починається із вказування відстані від осі автозчепи до першої осі екіпажа, далі послідовно вказуються відстані між суміжними осями і останньою вводиться відстань від останньої осі екіпажа до осі автозчепи.

Після вводу цих даних відбувається перехід до меню виду розрахунку.

У тому випадку, коли в меню **«Вибір типу навантаження»** вибирається **«поїзд із будь-яких екіпажів»**, з'являється меню із запитом **«Звідкіля?»** буде вводиться навантаження (введення інформації із бази даних рухомого складу або клавіатури). При введенні інформації із бази даних послідовно підключаються меню **«вибір типу екіпажа»**, **«вибір типу локомотива»**, **«вибір конкретної моделі екіпажа»** і запитується кількість таких екіпажів. Після введення кількості екіпажів відбувається повернення до меню із запитом **«Звідкіля?»**.

Якщо вибрати введення інформації про рухомий склад з клавіатури, то вказуються ті ж самі дані, що і для сплітки із довільного навантаження, тобто кількість осей екіпажа, навантаження на осі екіпажа і відстані між осями екіпажів. На відміну від вводу інформації для спліток із довільних екіпажів, у даному випадку необхідно вказувати кількість екіпажів.

Формування поїзда закінчується у тому випадку, якщо в меню із запитом **«Звідкіля?»** буде вибрано **«набрали»** і натиснуто на клавіша **«Enter»**. Після цього здійснюється перехід до меню **«вид розрахунку»**.

Програма визначення класів рухомого складу як одного із варіантів рухомого навантажен-

ня передбачає пропуск транспортерів різної вантажопідйомності. Ці транспортери можуть рухатися як у складі поїзда, так і з окремим локомотивом.

У випадку, коли в меню **«Вибір типу навантаження»** вибираються **«транспортери, які рухаються з окремим локомотивом»** відбувається перехід до меню **«вибір типу локомотива»**, а потім до меню **«вибір типу прикриття»**.

До бази даних рухомого складу занесені різні типи прикриття транспортерів, а саме:

- прикриття із вагонів з навантаженням 250 кН/м для транспортерів вантажопідйомністю понад 3000 кН;
- крайнє прикриття для транспортерів вантажопідйомністю 3000 кН і менше;
- прикриття між транспортерами вантажопідйомністю 300 кН і менше;
- прикриття не потрібне.

Після вибору і вводу типу прикриття здійснюється перехід до меню вибору конкретного типу транспортера. Далі відбувається запит: **«Добавляти наступний транспортер? Так/Ні «Y/N»** і здійснюється перехід до меню вибору прикриття за транспортером і до меню **«вид розрахунку»**.

При пропуску транспортерів необхідно враховувати правила формування поїздів, що викладені в [3] і в необхідних випадках встановлювати прикриття від локомотива або між транспортерами.

При включенні до складу поїзда транспортерів зчіпного типу необхідно вказувати кількість і тип середніх платформ (це необхідно при великій довжині вантажу, який перевозиться), а також наявності або відсутності другої крайньої платформи.

При визначенні класів транспортерів сполученого типу вказується довжина вантажу, який перевозиться.

У тому випадку, коли у складі рухомого навантаження, що розглядається, є транспортери будь-якого типу з кількістю осей 12 і більше, необхідно в обов'язковому порядку вказувати масу вантажу, який перевозиться.

У базі даних рухомого складу усі транспортери з кількістю осей понад 12 і транспортери сполученого типу незалежно від кількості осей прийняті порожніми (без корисного вантажу). Ця обставина дозволяє визначати класи транспортерів, які рухаються як у складі поїздів, так і з окремим локомотивом, з будь-якою масою корисного вантажу.

Транспортери усіх типів (крім сполучених) при кількості менше 12 осей у базі даних прий-

яті завантаженими на повну вантажопідйомність і програмно маса їх вантажу не змінюється.

Якщо в меню **«Вибір типу навантаження»** вибирається розрахунок за обвідними еквівалентних навантажень і класів екіпажів, здійснюється перехід до меню вибору обвідних навантажень і класів.

До бази даних рухомого складу занесена інформація по еквівалентним навантаженням і класам (при довжині завантаження від 1 м до 200 м і положенні вершин ліній впливу 0,00, 0,25 и 0,50) для таких типів екіпажів:

- електровозів з навантаженням на вісь до 250 кН;
- магістральних тепловозів з осьовим навантаженням до 255 кН;
- паровозів;
- магістральних вантажних вагонів габариту 1Т;
- магістральних 4-вісних вагонів;
- 8- і 6-вісних транспортерів з 4-вісними вагонами;
- транспортерів з вантажопідйомністю до 300 т;
- транспортерів з вантажопідйомністю понад 300 т.

Після вибору обвідної навантаження програмо здійснюється перехід до меню вибору «виду розрахунку». Видами розрахунку у цьому випадку можуть бути:

- умови пропуску рухомого складу;
- визначення типу навантаження для конкретного прогону.

Складання таблиці класів у такому випадку не виконується, оскільки втрачає будь-який сенс.

Програма має дружній інтерфейс з користувачем. Всі дії оператора є реакцією на запити системи і, таким чином, суворо обмежені. На будь-якому етапі роботи програма видає оператору запити-підкази, відповіді на які визначають подальший хід виконання програми. Ці запити видаються у вигляді меню або звичайних питань. При роботі з меню оператор вибирає необхідну операцію клавішами переміщення курсору, а при роботі з питаннями – символами «Y» (так) або «N» (ні).

Всі права на дану програму «CARRIAGE» належать тільки авторам, бо вона становить їх інтелектуальну власність. До складу програми входять декілька систем захисту різного типу. Її не можна копіювати, емулювати, створювати нові версії, здавати в найми або оренду, продавати, змінювати, декомпілювати, дезасемблювати, вивчати код програми іншими способами, передавати зареєстровану програму або будь-

які її складові без згоди на те авторів програми, а також після встановлення у ПЕОМ переносити її на інше місце жорсткого диска. У разі порушення цих вимог автори програми не будуть відповідати ні за які втрати або викривлення результатів розрахунку, а також за будь-яку упушену вигоду у процесі неправильного використання даного програмного продукту.

Програма для визначення класів будь-якого рухомого складу, яка використовується у приватному порядку в науково-дослідній лабораторії штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, з успіхом може бути впроваджена у відділі штучних споруд Головного управління колійного господарства Укрзалізниці, Київській мостовипробувальній станції ЦП-Укр, у відділах штучних споруд і дорожніх мостовипробувальних станцій залізниць України, а також у проектних інститутах, у разі необхідності визначення класу рухомого складу для вирішення задачі про умови подальшої експлуатації металевих і залізобетонних мостів.

Ця програма придатна і для включення до складу програм визначення вантажопідйомності прогінних будов залізничних мостів, а також до комп'ютерних систем управління штучними спорудами окремих залізниць України.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ГСТУ 32.6.03.111-2002. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів. Мінтранс України. – К.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2002. – 381 с.
2. Правила визначення вантажопідйомності балкових залізобетонних прогонових будов залізничних мостів. ЦП-0085 / Головне управління колійного господарства Укрзалізниці / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 404 с.
3. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожным мостам. – М.: Транспорт, 1993. – 368 с.
4. Указания по определению условий пропуска поездов по железнодорожным мостам. – М.: Транспорт, 1983. – 264 с.
5. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних мостах та залізобетонних залізничних мостах. ЦЦ-0095 / Головне управління колійного господарства Укрзалізниці / – К.: ПП «Алькор», 2003. – 301 с.

Надійшла до редколегії 20.05.04.

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ БЕТОНА И АРМАТУРЫ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

Розглянуто питання роботи залізобетонних конструкцій прогінних будов залізничних мостів, що мають ушкодження у вигляді корозії бетону та арматури. Наведені залежності для визначення міри накопичення ушкоджень в процесі корозії бетону та арматури у часі.

Рассмотрены вопросы работы железобетонных конструкций пролетных строений железнодорожных мостов, имеющих повреждения в виде коррозии бетона и арматуры. Предложены зависимости для определения меры накопления повреждений в процессе коррозии бетона и арматуры во времени.

The article examines the questions of the work of reinforced concrete span structures of railway bridges having damages in the form of corrosions of the concrete and armature and offers the dependencies for determination of the measure of damage accumulation in the process of corrosion of concrete and armature in time.

Проблема повышения долговечности мостовых конструкций в современных условиях является одной из основных. Теория надежности определяет термин долговечности, как свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния. Для искусственных сооружений железнодорожного транспорта основным критерием долговечности является срок службы.

Долговечность конструкций из железобетона зависит от большого числа факторов, основными из которых являются: тип и конструктивные особенности сооружения, условия эксплуатации, состав железобетона.

Считается, что если принять железобетон надлежащего состава, выбрать правильно конструктивные элементы, использовать в случае необходимости защитные мероприятия и качество строительных работ при возведении сооружения будет высоким, то такие сооружения будут долговечными.

Однако железобетон – материал не универсальный. Опыт эксплуатации транспортных железобетонных конструкций показывает, что в большинстве случаев на конструкции из железобетона одновременно с силовыми нагрузками действуют различные коррозионные факторы: воздействие агрессивной атмосферы, грунтов, постоянного электрического тока, которые через какой-то промежуток времени могут привести к заметному снижению их прочности и преждевременному разрушению. Это значительно снижает эффективность их применения, а иногда даже создает опасность для движения поездов.

Бетон – многокомпонентный композитный материал, обладающий свойствами упругости, псевдопластичности и ползучести, старения и наследственности, благодаря чему в нем переплетаются многие явления сложной физической природы [2]. Неоднородность бетона проявляется на всех микро- и макроуровнях его структуры. Кроме того, структурные характеристики этого материала существенно зависят от уровня приложенной нагрузки, характера и длительности ее воздействия и многих других факторов.

Процессы деформирования и разрушения бетона при кратковременном и длительном нагружении, во-первых, физически нелинейны, во-вторых, отчетливо зависят от времени, в-третьих, носят ярко выраженный вероятностный характер.

Бетон разрушается в местах наиболее опасных дефектов структуры. Коррозионные процессы могут одновременно с действующими нагрузками увеличивать перенапряжения, возникающие в местах наиболее опасных дефектов, и тем самым ускорять процесс разрушения, порождая новые дефекты. В структуре бетона можно условно выделить следующие основные типы дефектов: макрополости, микрополости, ослабленные участки контактов цементного камня с поверхностью заполнителей и контакты зерен заполнителей без прослойки цементного камня [7].

Макрополости образуются за счет избыточной воды затворения и есть во всех бетонах, поскольку для получения удобоукладываемых бетонных смесей воды берут на 25...30 % больше, чем это необходимо для гидратации цемента.

Микрополости образуются за счет контракционных процессов, возникающих при гидратации цемента. После затворения цемента контракционные явления вызывают появление растягивающих усилий, которые сосредотачиваются на перемычках между микрополостями. Величина возникающих при этом напряжений зависит от степени гидратации клинкерных минералов цемента и может приводить к разрыву пленок цементного камня.

Ослабленные участки контактов цементного камня с поверхностью заполнителей возникают в местах утолщения водяных пленок на поверхности заполнителей, что приводит к уменьшению плотности цементного камня в зоне контакта с поверхностью заполнителя.

Контакты зерен заполнителей без прослойки цементного камня происходят из-за недостатка цементного теста в бетонной смеси для заполнения всех пустот между зернами заполнителя. Кроме того, за счет внешнего расслаивания появляются щели и рыхлые места в верхней части бетона, а под зернами относительно крупных частиц заполнителя и арматуры – неплотности, образующиеся от внутреннего расслаивания бетонной смеси, и микротрещины усадочного характера, возникающие при значительном температурном или влажностном градиенте.

Таким образом, в бетоне еще до приложения нагрузок имеются структурные дефекты и разрывы обуславливающие его пониженную прочность по сравнению с теоретически возможной.

В зависимости от состава и структуры бетона, вида конструкции, характера и величины рабочих нагрузок и условий эксплуатации разрушающее действие на бетон оказывают такие виды коррозии: сульфатная, коррозия выщелачиванием, общекислотная, магнезиальная, коррозия за счет подсоса и кристаллизации солей, биологическая, а также многократное попеременное замораживание и оттаивание воды в порах бетона; усадка и набухание цементного камня при изменении влажности, химическое воздействие различных агрессивных газов, различные механические воздействия.

В качестве оценки меры накопления повреждений бетона можно принять априорную меру повреждений ψ , выразив ее через

$$\psi = \frac{R_{b,n} - R_{b,cr}}{R_{b,0} - R_{b,cr}}. \quad (1)$$

В начале нагружения

$$R_{b,n} = R_{b,0}, \quad \psi = 1;$$

в момент разрушения

$$R_{b,n} = R_{b,cr}, \quad \psi = 0,$$

где $R_{b,0}$ – прочность бетона пролетных строений в начале нагружения; $R_{b,n}$ – то же после приложения n циклов повторного нагружения; $R_{b,cr}$ – значение расчетного сопротивления бетона сжатию перед разрушением элемента, определяемое из условия

$$R_{b,cr} > R_{bf}, \quad (2)$$

где R_{bf} – расчетное сопротивление бетона сжатию при многократно повторяющихся нагрузках, вычисляемое по формуле [5]

$$R_{bf} = m_{b1} R_b = 0,6 \beta_b \rho_b R_b, \quad (3)$$

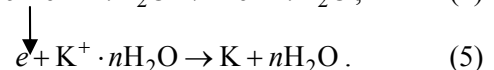
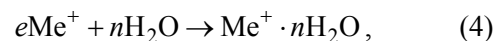
где m_{b1} – коэффициент условий работы; R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию при расчетах по предельным состояниям первой группы; β_b – коэффициент, учитывающий рост прочности бетона во времени; ρ_b – коэффициент, зависящий от асимметрии цикла повторяющихся напряжений

$$\rho_b = \frac{\sigma_{b,min}}{\sigma_{b,max}}.$$

Значение прочности бетона пролетных строений в начале эксплуатации берется из проектной документации. Прочность бетона после приложения n циклов нагрузки определяется во время технической диагностики неразрушающим методом – склерометром Шмидта.

Как показали исследования, изменение прочности бетона и количества циклов нагружения в единицу времени, является широкополосным случайным процессом. Поэтому слагаемые, входящие в функцию меры накопления повреждений, также являются случайными величинами.

Коррозия арматуры в бетоне это электрохимический процесс взаимодействия металла с окружающей средой. Электрохимическое растворение металлов в процессе коррозии представляется в виде двух сопряженных реакций: анодной, заключающейся в переходе ион-атомов металла из кристаллической решетки в раствор, и катодной, заключающейся в ассимиляции освобождающихся при анодной реакции электронов [1]: анодная реакция (4); катодная реакция (5)



Процесс коррозии в железобетонных пролетных строениях мостов может происходить по трем основным схемам:

1) коррозия арматуры начинается после разрушения защитного слоя бетона в результате механических повреждений (сколы, отколы бетона) и оголения стержней арматуры;

2) развитие коррозии начинается с арматуры, когда бетон не обладает достаточными защитными свойствами (недостаточная толщина защитного слоя), но и не разрушается под действием среды, которая не является по отношению к нему агрессивной;

3) коррозия арматуры развивается в результате атмосферных воздействий через трещины, которые появились в бетоне конструкции.

По характеру разрушения поверхности арматуры различают следующие основные виды коррозии:

- равномерная или общая коррозия, т. е. равномерно распределенная по поверхности металла;
- местная или локальная (пятнами), сосредоточенная на отдельных участках поверхности;
- точечная коррозия (питтинг), сосредоточенная на очень малых участках поверхности, но отличающаяся глубоким прониканием,
- межкристаллитная коррозия, когда разрушение сосредотачивается на границах кристаллов.

Обычно встречается одновременно несколько видов коррозионных разрушений. В начале развития процесса часто наблюдается коррозия пятнами, в дальнейшем переходящая в общую, с развитием глубоких местных изъязвлений.

Местная коррозия арматуры, несмотря на меньшие вызываемые ею весовые потери металла, более опасна, чем общая, так как приводит к быстрой потере прочности отдельных участков. Коррозионное разрушение тем опаснее, чем ограничenee участки, на которых оно сосредоточено.

Особенно резко понижает прочность межкристаллитная коррозия, нарушающая связи между кристаллами, несмотря на малые весовые потери металла.

Мера накопления повреждений арматуры определяется по формуле

$$\psi = \frac{\sigma_{s \max}(t) - R_{sf}}{\sigma_{sk}(t) - R_{sf}}, \quad (6)$$

где $\sigma_{sk}(t)$ – номинальное напряжение в арматуре в сечении над участком местной коррозии; R_{sf} – предельное сопротивление выносливости; $\sigma_{s \max}(t)$ – напряжение в арматуре в зоне коррозии к моменту времени t , определяемое зависимостью [6]

$$\sigma_{s \max}(t) = k \sigma_{sk}(t); \quad (7)$$

$$k = 1 + 0,23 \frac{h_{\text{кор}}}{b}; \quad (8)$$

$$b = d - h_{\text{кор}}, \quad (9)$$

где k – коэффициент концентрации напряжений; d – первоначальный диаметр арматуры; b – непрокорродированный диаметр арматуры; $h_{\text{кор}}$ – глубина коррозии, которая вычисляется по формуле [3]

$$h_{\text{кор}} = 0,15 [\ln(11,11a)]^{2/3} T^{0,15} \sqrt{a}, \quad (10)$$

где a – ширина раскрытия трещины, мм; T – годы эксплуатации конструкции.

Для (6) выполняются условия

$$\sigma_{s \max}(t) = \sigma_{sk}(t), \quad \psi = 1; \quad (11)$$

$$\sigma_{s \max}(t) = R_{sf}, \quad \psi = 0. \quad (12)$$

Таким образом, $\psi = 1$ соответствует случаю незагруженного элемента, а $\psi = 0$ – моменту достижения напряжений в арматуре конструкции предела сопротивления выносливости R_{sf} .

С учетом зависимостей (7) и (8) величина меры накопления повреждений арматуры определяется выражением

$$\psi = \frac{\left(1 + 0,23 \frac{h_{\text{кор}}}{d - h_{\text{кор}}}\right) \sigma_{sk}(t) - R_{sf}}{\sigma_{sk}(t) - R_{sf}}. \quad (13)$$

Допустимый уровень накопления повреждений устанавливается в зависимости от требуемого уровня надежности пролетных строений (таблица) [4].

Таблица
Допустимые значения меры повреждения

Значение меры повреждения ψ_{cr}	0,65	0,60	0,55	0,50
Вероятность неразрушения $P(\psi)$	0,999	0,998	0,995	0,985
Значение меры повреждения ψ_{cr}	0,45	0,40	0,35	0,30
Вероятность неразрушения $P(\psi)$	0,958	0,897	0,794	0,641

В целом до настоящего времени вопрос назначения оптимального уровня надежности для мостовых конструкций не решен. Уровень надежности при проектировании пролетных строений установлен 0,90 по образованию трещин в защитном слое и 0,95 – по достижению трещинами допустимой величины раскрытия 0,2 мм, при наступлении отказа в виде хрупкого разрушения бетона в конструкциях – 0,999, а при наступлении отказа без потери несущей способности – 0,95 [4].

Наступление предельного состояния по условиям выносливости бетона и арматуры в пролетных строениях мостов связано с достаточно большими материальными затратами и представляет опасность для жизни людей, и поэтому уровень надежности не должен быть ниже 0,95.

Определив меру накопления повреждений, по результатам обследования мостовой конструкции, и сравнив её с допустимым значением, можно судить о состоянии пролетного строения и о возможности дальнейшей его эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Под ред. В. М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Мамажанов Р. К. Вероятностное прогнозирование ресурса железобетонных пролетных строений мостов. – Ташкент: Фан. – 1993. – 156 с.
3. Мамажанов Р. К., Дубинчик О. И. Коррозия арматуры в железобетонных пролетных строениях мостов / Р. К. Мамажанов, О. И. Дубинчик // Транспорт. Наука, техника, управление. – 2000. – № 6. – С. 50.
4. Низамутдинова Р. З. Выбор меры накопления повреждений для оценки ресурса железобетонных пролетных строений мостов // Межвуз. сб. науч. тр. / ТашИИТ. 1996. Вып.226/62. С. 62-66.
5. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 200 с.
6. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Т. II. – М.: Стройиздат, 1973. – 24 с.
7. Чехов А. П. Защита строительных конструкций от коррозии. – К.: Вища шк. – 1977. – 216 с.

Поступила в редколлегию 21.09.20004.

АРХІТЕКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ МОСТІВ

Розглянуті загальні відомості про архітектуру мостів та на прикладі пішохідних мостів показані вдалі архітектурні рішення.

Рассмотрены общие сведения об архитектуре мостов и на примере пешеходных мостов показаны удачные архитектурные решения.

Common information about architecture of bridges is considered in the article and on the examples of footbridges, successful architectural decisions are shown.

Загальні відомості

Архітектура (будівництво) – це система будов, споруд, які формують просторове середовище для життя та діяльності людей, а також саме мистецтво створювати ці будови і споруди у відповідності до законів краси [1]. Її художні образи відіграють значну роль у духовному житті суспільства. Основними якостями архітектури, за образним висловлюванням Вітрувія, є «користь, міцність, краса» споруди. Ці функціональні, конструктивні і естетичні якості органічно взаємопов'язані.

Мости відносяться до відповідальних інженерних споруд і до них висувається цілий ряд вимог. Функціональні, або виробничо-експлуатаційні вимоги, зводяться до забезпечення зручного руху по мосту та під ним (суден, залізничного, автомобільного транспорту, пішоходів). Конструкції прогонових будов, опор повинні бути раціональними для виготовлення, спорудження, а також зручними в експлуатації.

Конструктивні або розрахунково-конструктивні вимоги передбачають забезпечення міцності, жорсткості, стійкості і витривалості всіх елементів моста на протязі всього терміну служби. Всі конструкції моста повинні бути стійкими до дії води, температури, льоду та шкідливих реагентів.

Економічні вимоги полягають у необхідності при проектуванні вибору рішення, яке передбачає найменші витрати коштів і матеріалів на будівництво за можливо найменшою трудомісткістю робіт при спорудженні моста (впровадження нових конструктивних схем, матеріалів і технологій).

До міських мостів поряд з перерахованими вище вимогами висуваються підвищені архітектурно-планувальні вимоги. Зупинимось більш детально на цих вимогах та шляхах їх вирішень.

Основними засобами створення художнього образу в архітектурі є формування простору і архітектоніка або просто тектоніка. При формуванні архітектурного простору (архітектурної композиції) використовуються основні принципи формоутворення в природі:

- цілісність;
- пропорції;
- симетрія;
- ритм;
- головне в цілому.

Зв'язуючою ниткою безкінечного різноманіття форм в природі є пропорція «золотого» перетину (0,618:0,382).

Вінцем природи, як відомо, є людина, то не дивно, що вся фігура і окремі частини нормально розвиненої людини підпорядковані симетрії та «золотим» пропорціям.

«Золота» пропорція проявляється в рослинному та тваринному світі, на мікро- та макрорівнях. Наприклад, сон та активність людини в межах доби, удари серця та його відпочинок, кров'яний тиск у нормі і т. д.

Кисть руки людини містить в собі всі пропорції спадаючого ряду «золотого» перетину: 100; 62; 38; 24; 14; 10. Це приклад є ще й наочним свідченням того, що в частинах виявляється повторення будови цілого.

Неважко помітити, що природа завжди створює щось ціле: людину, рибу, коня. Від цього цілого не можна нічого відняти, не порушивши цілісність. Не можна нічого і додати. Воно буде зайвим і також порушить цілісність і гармонію [2].

Будь-яка, в тому числі і мостова, споруда складається з частин. Частини різної величини знаходяться у визначеному відношенні (пропорції) одна до одної і до цілого. Якщо співвідношення розмірів частин однієї до одної і до розмірів всієї (цілої) споруди відповідають «зо-

лотій» пропорції – це веде до симетрії, ритму, гармонії та красоти.

Багато визначних споруд давнини своєю досконалістю, красою зобов'язані використанню при їх спорудженні співрозмірності частин і цілого, системи пропорцій та своїй співрозмірності людині.

Тектонікою в теорії архітектури називається художній вираз роботи конструкції та матеріалу. Тектоніка виявляється взаємозв'язком і взаєморозташуванням несучих та несомих частин, ритмічним строєм форм, які роблять наочними статичні зусилля конструкції [1; 3–5].

Тектоніка споруди може бути реальною, ілюзійною (уявною), а також реальною, проте пасивно вираженою.

В основній своїй масі мости підкреслено тектонічні, оскільки конструктивна роль елементів і характер розподілу зусиль достатньо наочні. Якщо конструкціям моста надається вигляд, який відповідає їх дійсній роботі, то мається на увазі реальна тектоніка.

Сутність ілюзійної (уявної) тектоніки полягає в тому, що при проектуванні мосту або окремим його елементам надають форми, які відрізняються від істинно використаних конструкцій. Наприклад, перетворення рамного чи балочного моста за обрисами в арочний міст.

Вміле використання ілюзійної тектоніки дозволяє збагатити архітектурні можливості мостів.

Проектування мостів, у яких форми проявляються в точній відповідності до характеру діючих зусиль на основі тільки техніко-економічних міркувань, приводить до тектоніки реальної, але пасивно вираженої.

Такий утилітарний підхід до проблем тектоніки може призвести до появи архітектурно слабких або ж просто потворних споруд.

До художніх засобів архітектури входять також фактура та колір (колористика), розмаїття яких досягається різними способами обробки поверхні споруди.

Архітектура пішохідних мостів

Мости займають видне місце як у природному, так і в штучному ландшафтах. Часто саме вони є найпомітнішими спорудами, домінантами ландшафту. І від того, наскільки мистецьки виконано мостову споруду, настільки вона природно вписується, залежить те, чи впливає вона позитивно або негативно на природне оточуюче середовище, а також і на людину.

Функціональні вимоги до мостів формалізовані в технічних умовах, у будівельних нормах і стандартах (навантаження, деформації,

тріщиностійкість, віброприскорення і т. ін.). Як правило, ці вимоги задовольняються інженерами-професіоналами, які забезпечують неодмінні умови абсолютної надійності і необхідної довговічності конструкції. Мостові споруди повинні відповідати також і іншим вимогам, включаючи гігієну, комфорт, захищеність і навіть затишок. Все це великою мірою відноситься і до пішохідних мостів. Мостові пандуси, прохода частина мостів повинні бути зручними для руху пішоходів, інвалідів на колясках у будь-яку пору року і в будь-яку годину доби. Іншими словами, уклони пандусів, конструкція проходаї частини і освітлення моста повинні виключати незручності, можливе кригоутворення в осінньо-зимово-весняний сезони і т. д. У той же час пішохід на мосту повинен бути надійно захищений від непогоди (вітру, дощу і снігу).

Освітлення пішохідних мостів доцільно здійснювати світильниками, які розташовані в поручнях перил.

Пішоходи, рухаючись по мосту, викликають його коливання, які, в свою чергу, поряд з вітровими, сейсмічними та іншими впливами можуть створювати психологічний, а при довготривалому впливі – і фізіологічний дискомфорт [6; 7].

Психологічний вплив коливань, які сприймаються органами почуттів (зорових і слухових), виявляється при помітних на око коливаннях опор світильників, при коливаннях пілонів, несучих канатів, вант, які супроводжуються стуком при співударах підвісок (у вантових і висячих мостах), при відчутних коливаннях проходаї частини.

Для усунення цих шкідливих коливань необхідна розробка спеціальних заходів, про що детально сказано в [6].

Естетичне враження, яке справляє міст, залежить від його архітектурних особливостей і від того, як вигляд моста в композиційному відношенні узгоджений з оточуючим середовищем.

Коли проектується міст, весь складний комплекс функціональних, технічних, економічних і естетичних проблем повинен вирішуватися в гармонійній єдності. Проектування ніколи не слід починати перед візуальним вивченням оточуючого середовища (ландшафту або міського пейзажу), в якому буде зводитись споруда.

Оточуюче середовище – це єдність характеристик часу і простору. При проектуванні та оцінці мостів необхідно враховувати обидва ці параметри. Тут під обставинами часу розуміються історія та традиції місцевого мостобудівництва,

рівень розвитку технології та культури, а під просторовими умовами – масштаб і характер природного ландшафту та топографія місцевості, масштаб і характер штучного оточуючого середовища (в умовах міської забудови).

Зовнішній вигляд моста, як правило, співвідносять із загальним ландшафтом долини річки. При рівнинному рельєфі долини річки доцільні балкові або рамні конструкції з невеликою будівельною висотою, плоскі, «які стеляться». Якщо річка має напівгірський або гірський рельєф долини або високі береги, краще враження складають конструкції, розвинуті у висоту, наприклад, підйомисті арки, підпружні комбіновані системи і т. ін.

Цей етап проектування, пов'язаний з вибором статичної схеми моста, розбиттям його на прогони, вибором матеріалів, виявляється найскладнішим, самим творчим і найвідповідальнішим. Від прийняття вірних або невірних рішень залежить і архітектурно-художній вигляд моста, і комфортність людей, і його вартість (будівельна та експлуатаційна) і, нарешті, стан оточуючого середовища.

Тому, починаючи з вибору системи (схеми) моста і матеріалу, повинна бути налагоджена сумісна робота інженера і архітектора. Причому кожен з них повинен бути достатньо компетентним в області роботи іншого. Необхідною умовою успіху є підтримка естетичних якостей проєктованого моста представниками замовника.

Вибір мостової системи (балкової, рамної, аркової, висячої чи вантової), розміщення рівня проїзду, матеріалів, з урахуванням вимог підмостових габаритів повинні бути підпорядковані задачам формоутворення простору, архітектурної композиції. Мостова конструкція не повинна пригнічувати чи, навпаки, губитися, здаватися мілкою, неспіврозмірною оточуючій забудові, не повинна різко порушувати ландшафт, який уже склався.

У відповідності до прийнятої концепції (статичної схеми) моста повинні бути забезпечені гармонійність поєднань і кратність співвідношень (пропорції) його основних розмірів, урахування в пропорціях «золотого» перетину. Це стосується як цілого – гармонійних пропорцій між центральними (русловими) прогонами і поєднуючими (береговими), так і частини – наприклад, в багаторусній опорі додержання гармонійних пропорцій між висотами кожного ярусу, між товщиною і висотою ярусу, між товщиною опор і прогонових будов і т. д.

Форма кожного елемента повинна бути тісно пов'язана з його функціональним призначенням,

з діючими зусиллями та відповідати використуванню матеріалів. Слід уникати прикраси конструкції зайвими елементами – конструкція досконала, якщо в ній немає нічого зайвого.

Повинен бути забезпечений ритм, повторюваність або чергування частин цілого, наприклад, поєднуючих (берегових) прогонів, проміжних опор, перильних огорож, опор освітлення.

Обриси контурів прогонової будови повинні бути ув'язані з формами опор. В розташуванні елементів моста повинні дотримуватися порядок і рівновага. Перевіреним елементом порядку є симетрія і вона повинна використовуватися завжди, коли дозволяють функціональні потреби.

Силует, обриси прогонових будов та опор повинні сприяти візуальному сприйняттю статичної роботи моста, створювати враження міцності, стійкості та надійності.

Бажано використання моделей не тільки для перевірки розрахунків, але і для оцінки архітектурно-художнього образу моста.

Для посилення архітектурно-художньої виразності моста використовують фактуру, колір, прийоми нюансу і контрасту. Наприклад, тектоніка арки може бути посилена рустом або архівольтами, тектоніка рами або нерозрізної балки – підкреслюванням їх вутів.

У довгих прогонах нижня грань балки повинна бути трохи вигнута до гори, оскільки пряма нижня грань балки буде здаватися провислою а, отже, знижувати відчуття легкості прогону.

При виборі обрисів арочного моста слід шукати вірне співвідношення між стрілою арки, прогоном, товщиною і висотою опори. Високі опори слід проєктувати так, щоб вони звужувалися догори у відповідності до зменшуваних зусиль. Доцільніше, якщо це звуження забезпечується не прямими лініями, а параболічними, що надає конструкції витонченої форми. Використовуючи пластику і архітектурність бетону шляхом влаштування фасок, каннелюр, викружок можливо надавати опорам приємної форми. Можливо значно покращити зовнішній вигляд моста, якщо пофарбувати його кольорами, які гармонують з оточуючим середовищем. Бетонні конструкції також виграють від фарбування, оскільки нефарбований сірий цементний зовнішній шар притягує бруд і пил, як магніт. Якщо видалити зовнішній цементний шар і пофарбувати елементи мостової конструкції фарбами на силіконовій основі, то на десятиріччя забезпечено привабливий вигляд усієї споруди [5].

При проєктуванні моста слід уникати таких конструктивно-технологічних рішень, які можуть зіпсувати в процесі експлуатації його зов-

нішній вигляд, наприклад, складних форм для залізобетонних мостів, поганої гідроізоляції або арматурних випусків, які можуть викликати потьoki при вилуджуванні цементного розчину або утворювати іржаві плями.

Велике значення для фасаду має лінія прохогої частини. Вона завжди повинна бути підкреслена, від цього вирає зовнішній вигляд моста. Із можливих рівнів розташування прохогої частини – зверху, знизу чи посередині – перевагу слід віддавати першому, оскільки виступаючі вище прохогої частини (при русі понижу або посередині) конструкції псують перспективу річки і прилеглу до моста архітектурну забудову, а при наявності ще й верхніх зв'язків міст перетворюється на коридор. Збільшення будівельної висоти прогонових будов у разі руху верхом частково може бути компенсовано влаштуванням консолей плити прохогої частини, які кидають тінь на фасад прогонової будови та зорово зменшують його висоту.

На профіль прохогої частини моста впливає природний рельєф місцевості, потреби висотних габаритів водного і наземного транспорту, допустимі уклони (для пішохідних мостів 20 %), вибір конструктивного рішення моста та естетичні вимоги. Тому профіль прохогої частини може бути прямим, горизонтальним, похилим або ж криволінійним: опуклим, угнутим, або складати комбінацію з відрізків різноманітних геометричних ліній. Найбільш доцільним, із архітектурних міркувань, є криволінійний, з опуклістю догори, обрис прохогої частини. Наочною ілюстрацією може служити пішохідний міст через річку Десна (м. Чернігів). За умовами судноплавства профіль центрального прогону нерозрізної прогонової будівлі описаний вертикальною кривою радіусом 2000 м. Бокові прогони поєднуються з центральним зворотними вертикальними кривими радіусом 500 м. При цьому ухил прохогої частини складає 60 %. Не дивлячись на те, що прогонова будова змонтована з прямолінійних блоків довжиною 10,5 м, її профіль має плавний криволінійний обрис. Збільшення висоти прогонової будови над опорами відповідає особливостям нерозрізних систем, тобто робить легким читання тектоніки нерозрізної прогонової будови. Відсутність зовнішніх ребер жорсткості посилює враження легкості та витонченості мосту. Міст несиметричний в силу того, що правий берег вищий за лівий і фарватер зміщено в бік правого берега. Тому вісь композиції моста зміщена в бік правого берега, щоб вона співпадала з віссю зорової рівноваги асиметричного рельєфу. Міст гармонійно вписується в оточуючий ландшафт.

Враження легкості, стрімкості і витонченості в архітектурний вигляд пішохідного моста через Венеціанську протоку в районі станції метро «Гідропарк» (м. Київ) привносить безшарнірна полога арка. Аркова прогонова будова має гарні пропорції: пологість – $1/8,4$, відношення висоти арки до прогону в п'яті – $1/48,7$, в замку – $1/91,0$. Струнка надаркова прогонова будова у вигляді тонких стояків і легких плит прохогої частини з постійним прогоном 6 м вдало поєднується з симетричними естакадами підходів, які мають аналогічну конструкцію і такий же прогін, і створює певний ритм, який вдало виділяє та відтінює витонченість та виразність арки. Складається враження, що арка широко і вільно «зробила крок» з одного берега протоки на другий берег.

Це враження посилюється обрисом прохогої частини, поздовжні ухили поєднуються над аркою плавною кривою.

Цей міст є прикладом вдалого поєднання матеріалу (залізобетон), сучасних технологій (збірна конструкція) для досягнення художньої виразності всієї споруди.

Висячі та вантові мости значно розширюють «спектр» як конструктивно-технічних, так і архітектурно-художніх рішень. Висячі та вантові системи дозволяють перекривати значні за розмірами простори. Балка жорсткості на всій довжині має постійний, відносно тонкий, перетин. Міцні, високі пілони, які підтримують балку жорсткості завдяки високоміцним несучим кабелям і вантам, складають враження надійності і в той же час легкості всієї споруди.

У самих цих системах закладені великі архітектурні можливості. Особливо великі економічні та архітектурно-планувальні можливості закладені в пішохідних мостах завдяки легкості конструкцій, витонченості та гнучкості форм. Поряд з використанням загальноприйнятих засобів композиції художня виразність висячих і вантових систем може бути досягнута вибором кількості, конструкції, обрису і положення у просторі пілонів, вибором кількості ферм (у висячих) і кількості площин, системи розташування вант (веєрна, арфа і т. ін.) вантових мостів, а також вибором обрису балки жорсткості.

Весь цей набір засобів створення художньої виразності мостів повинен бути композиційно пов'язаний з оточуючим ландшафтом або міською забудовою, з урахуванням підпорядкованості чи домінування моста над місцевістю.

Значні архітектурні можливості пішохідних мостів криються в конструкції та заповненні перил, а також конструкції сходів, пандусів тощо.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. БСЭ.-М: Советская энциклопедия, 1970. Т. 2. – 296 с.
2. Ковалев Ф. В. Золотое сечение в живописи. Учебное пособие. – К.: Высш. шк., 1989. – 143 с.
3. Гибшман М. Е. Проектирование транспортных сооружений / М. Е. Гибшман, В. И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 445 с.
4. Пунин А. А. Архитектура отечественных мостов. – Л.: Стройиздат, 1982. – 152 с.
5. Мостостроение мира. 1997. № 2.
6. Загора А. Л. Гашение колебаний мостовых конструкций / А. Л. Загора, М. И. Казакевич; Под ред. Н. Г. Бондаря. – М.: Транспорт, 1983. – 134 с.
7. Казакевич М. И. Аэродинамика мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 240 с.

Надійшла до редколегії 07.08.2004.

ГАШЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Розглянуто результати теоретичних та експериментальних досліджень конструкційного, динамічного та конструктивного гасіння коливань прогонних будов мостів.

Рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований конструкционного, динамического и конструктивного гашения колебаний пролетных строений мостов.

The results of theoretical and experimental tests of the constructional, dynamic and constructive damping of vibrations of the bridge span structures have been considered.

Мостовые конструкции, как и любые реальные механические колебательные системы, обладают свойством диссипации энергии вследствие необратимых процессов, происходящих в материале упругого элемента (рассеяние энергии в материале), в узлах соединений (конструкционное демпфирование), а также в результате потерь энергии колебаний в окружающую среду. Соотношение между этими видами энергетических потерь для различных типов мостов неодинаково и зависит от материала, конструктивных форм моста, а также от условий его работы. Неупругие сопротивления различной природы играют важную роль при колебаниях мостов, так как от них зависят величины амплитуд колебаний пролетных строений, особенно в резонансном режиме.

К **конструкционному** демпфированию относится установка демпфирующих устройств в опорных узлах и опорных частях, использование вибропоглощающих покрытий и сплавов с повышенными демпфирующими свойствами.

Конструкционное демпфирование в мостах может быть увеличено искусственно:

- использованием новых сплавов с высокими диссипативными свойствами для изготовления отдельных элементов и узлов;
- применением специальных вибропоглощающих покрытий, наносимых на поверхность колеблющихся элементов пролетных строений;
- созданием деформационных швов и узлов с дополнительными источниками поглощения;
- созданием демпферных устройств в опорных частях и сочленениях пролетных строений.

Разработаны также **конструктивные** способы гашения колебаний, включающие изменение расчетной схемы конструкции, установку дополнительных опорных точек или оттяжек, изменение изгибной или крутильной жесткости демпфируемой конструкции.

Динамическое гашение колебаний, заключающееся в присоединении к основной колеблющейся массе дополнительной массы, составляющей незначительную долю основной. Эта дополнительная масса с элементами связей называется динамическим гасителем колебаний (ДГК). В зависимости от свойств связей различают ДГК:

- представляющие собой дополнительную массу или массы, присоединенные к основной массе при помощи упругого элемента или по схеме маятника;
- представляющие собой дополнительную массу или массы, присоединенные к основной массе связями с элементами трения – демпферами, т. е. амортизаторами;
- в которых дополнительная масса присоединяется к основной массе при помощи упругого и вязкого (или иного) элементов.

Аэродинамическое гашение колебаний, идея которого заключается в изменении характера обтекания сооружений или их отдельных элементов ветровым потоком, позволяет существенно снизить нагрузки, обуславливающие возникновение различных аэроупругих явлений.

В некоторых случаях удастся устранить основную причину возникновения аэроупругой неустойчивости. Аэродинамические способы гашения колебаний опираются на изменение циркуляции ветрового потока вокруг элементов конструкций, на обеспечение смещения фаз в срыве вихрей Кармана вдоль элементов конструкций при отрывном обтекании, т. е. нарушение синхронизации образования вихрей Кармана вдоль элементов конструкции [1].

Аэродинамическими свойствами мостовых конструкций управляют как на стадии проектирования, так и в процессе строительства и эксплуатации.

В первом случае это достигается путем совершенствования конструктивной формы элементов мостов (пролетных строений, пилонов и т. д.), придания их поперечному сечению удобообтекаемой формы, устройства аэродинамически прозрачного настила.

Во втором случае это достигается чаще всего установкой аэродинамических обтекателей самых разнообразных конструкций. Известны случаи установки обтекателей на мостах через р. Ямато (Япония) и Св. Джона (США), через бухту Лонга и Львиные ворота (Канада), пешеходного висячего моста Ковасаки-Баси (Япония), эффективность которых была предварительно оценена при экспериментальных исследованиях в аэродинамических трубах, а затем подтверждена в условиях эксплуатации [1].

Весьма эффективным при стабилизации колебаний вант вантовых мостов является конструктивное демпфирование.

При этом отдельные ванты с помощью жестких распорок, установленных в местах пучности форм колебаний вант или по другим соображениям, объединяются в «вантовую систему». Благодаря этому, энергия колебаний колеблющейся ванта перераспределяется между соседними вантами и колебания ванта быстро затухают [2].

Заложенная в основу конструктивного гашения колебаний вант идея объединения изолированных вант в «вантовую систему» трансформирует дискретный спектр низших частот всех вант в непрерывный, «размазанный»

В этом случае невозможны ни резонансы любой изолированной ванта, ни колебания «вантовой системы» в целом.

Установленные на одной высоте над проезжей частью распорки между вантами моста через реку Даугава (рис. 1) позволили стабилизировать колебания вант как в процессе сооружения моста, так при его эксплуатации.

Высокой эффективностью гашения колебаний вант обладает «вантовая система», установленная на мосту через реку Днепр (г. Киев). Размещение распорок между вантами на одной высоте над уровнем проезжей части моста и на равном расстоянии от оси пилон (рис. 2) позволяет сместить спектр собственных частот в сторону более высоких значений и «размазать» до практически непрерывного. Это гарантирует невозможность возникновения регулярных резонансных колебаний вант как от ветровых воздействий, так и от временных нагрузок. Наряду с этим, добавочное гашение колебаний вант реализу-

ется непосредственно в узлах их прикрепления к соседним вантам благодаря использованию демпфирующих устройств сухого трения.

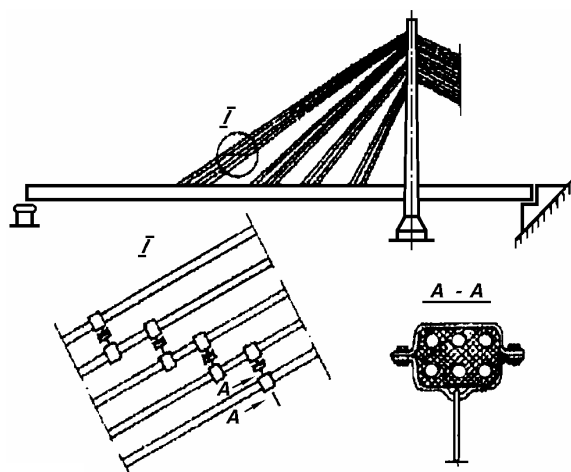


Рис. 1

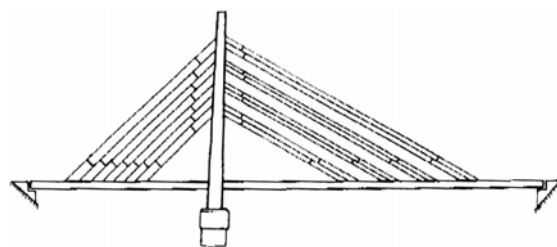


Рис. 2

Установленные на обоих мостах гасители обеспечили эффективное гашение колебаний вант.

Примером динамического гашения колебаний может быть использование дополнительных масс, расположенных на жестких консолях.

Во избежание резонансных колебаний пролетных строений пешеходных мостов периоды собственных колебаний по двум низшим формам (в балочных системах – по одной низшей форме) в вертикальной плоскости не должны располагаться в диапазоне 0,45...0,6 с [3].

В работе [4] рассмотрены теоретические основы регулирования частот и гашения колебаний балочных пешеходных пролетных строений с помощью одной или двух масс, прикрепленных на жесткой консоли к одному или обоим концам балок пролетного строения.

Здесь приведены результаты теоретических исследований вынужденных колебаний типового пролетного строения под пешеходную нагрузку длиной 33 м, на обоих концах которого жестко прикреплены консоли с дополнительными массами M_1 и M_3 .

Исходная расчетная схема с тремя степенями свободы представлена на рис. 3.

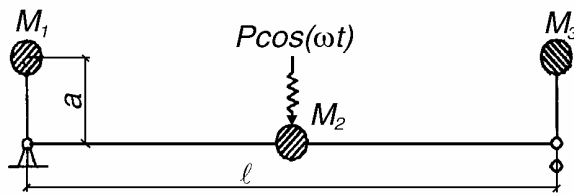


Рис. 3. Исходная расчетная схема динамической системы

Поскольку динамическая система (см. рис. 3) симметричная, она может быть заменена эквивалентной динамической системой, расчетная схема которой приведена на рис. 4.

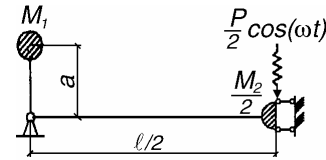


Рис. 4. Эквивалентная расчетная схема

Используя принцип Даламбера, выражения для перемещений масс при вынужденных колебаниях с учетом затухания (1). После преобразования система дифференциальных уравнений (1) приводится к системе (2), удобной для численного интегрирования.

$$\begin{cases} y_1 = -M_1 a^2 \ddot{y}_1 - \frac{M_2}{2} \ddot{y}_2 - \frac{h_2}{2} \dot{y}_2 - h_1 \dot{y}_1 + \delta_{12} \frac{P}{2} \cos \omega t, \\ y_2 = -M_1 a^2 \ddot{y}_2 - \frac{M_2}{2} \ddot{y}_2 - \frac{h_2}{2} \delta_{22} \dot{y}_2 - h_1 \dot{y}_1 + \delta_{22} \frac{P}{2} \cos \omega t. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_3, \\ \dot{y}_2 = y_4, \\ \dot{y}_3 = -\frac{h_1}{M_1 a^2} y_3 - \frac{\delta_{22}}{M_1 a^2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2)} y_1 + \frac{\delta_{12}}{M_1 a^2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2)} y_2, \\ \dot{y}_4 = \frac{R_0}{M_2} \cos \omega t - \frac{h_2}{M_2} y_4 - \frac{2 \delta_{11}}{M_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2)} y_2 + \frac{2 \delta_{12}}{M_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2)} y_1. \end{cases} \quad (2)$$

Исследования выполнялись для следующих случаев:

- при величине дополнительной массы на консоли $M_1 = M_3 = 0,005M_2$ и длинах консоли 0,5; 1,0; 1,5 и 1,7 м (неупругие связи отсутствуют);
- при величине дополнительной массы на консоли $M_1 = M_3 = 0,01M_2$ и тех же длинах консоли (неупругие связи отсутствуют);
- при длине консоли $a = 1$ м, величине дополнительной массы $M_1 = M_3 = 0,005M_2$ и наличии неупругих связей этих масс с коэффициентами сопротивления h_1 , равными 1, 2, 3 и 4 коэффициентам сопротивления пролетного строения h_2 ;
- при длине консоли $a = 1$ м, величине дополнительной массы $M_1 = M_3 = 0,01M_2$ и наличии

неупругих связей этих масс с коэффициентами сопротивления h_1 , равными 1, 2, 3 и 4 коэффициентам сопротивления пролетного строения h_2 ;

- при длине консоли $a = 1$ м, величине дополнительной массы $M_1 = M_3 = 0,001M_2$ и наличии неупругих связей на концах консолей;
- при длине консоли $a = 1$ м, величине дополнительной массы $M_1 = M_3 = 0,0001M_2$ (т. е. дополнительная масса практически отсутствует) и наличии неупругих связей на концах консолей.

Результаты вычисленных периодов собственных колебаний динамической системы «пролетное строение + две дополнительные массы на жестких консолях, расположенных на его концах», сведены в табл. 1.

Таблица 1

Состояние пролетного строения	Без дополнительных масс на консолях	С дополнительными массами на консолях длиной, м			
		0,5	1,0	1,5	1,7
	Период, сек				
$M_1 = M_3 = 0,05M_2$	0,454	0,682	0,815	1,286	1,576
$M_1 = M_3 = 0,01M_2$	0,454	0,691	0,948	1,712	2,928

График изменения периода собственных колебаний системы «пролетное строение + две дополнительные массы на жестких консолях, расположенных на его концах» представлены на рис. 5.

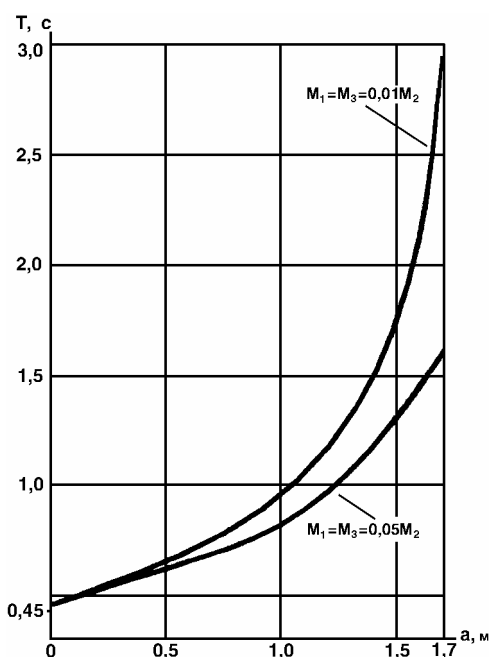


Рис. 5. Зависимость периода собственных колебаний системы от величины масс и длин консолей

Даже дополнительный груз на небольшой консоли ($a = 0,5$ м) способен значительно изменить период собственных колебаний системы и вывести ее за пределы не рекомендованного нормами диапазона.

Амплитуды вынужденных колебаний середины пролетного строения с двумя расположенными на его концах жесткими консолями с дополнительными массами M_1 и M_3 уменьшаются почти в 30 раз (табл. 2).

При этом изменение консоли больше $a = 0,5$ м практически не сопровождается уменьшением амплитуды вынужденных колебаний середины пролетного строения.

Поэтому дальнейшие исследования выполнялись при длине жесткой консоли $a = 0,1$ м. Тем более, что при такой длине консоли дополнительные массы удобно совмещать с перильными стойками пролетного строения. Результаты исследования влияния изменения диссипативных свойств неупругих связей масс M_1 и M_3 сведены в табл. 3.

Нетрудно убедиться в том, что амплитуда вынужденных колебаний середины пролетного строения с увеличением диссипативных свойств неупругих связей масс M_1 и M_3 практически не изменяется.

Таблица 2

Состояние пролетного строения	Без дополнительных масс на консолях	С дополнительными массами на консолях длиной, м			
		0,5	1,0	1,5	1,7
		Амплитуда, мм			
$M_1 = M_3 = 0,05M_2$	40,0	1,283	1,282	1,282	1,281
$M_1 = M_3 = 0,01M_2$	40,0	1,292	1,284	1,271	1,269

Таблица 3

Состояние пролетного строения	Без дополнительных связей	С неупругими связями, h_1 / h_2			
		1,0	2,0	3,0	4,0
		Амплитуда, мм			
$M_1 = M_3 = 0,05M_2$	1,282	1,285	1,284	1,284	1,284
$M_1 = M_3 = 0,01M_2$	1,284	1,300	1,298	1,297	1,295
$M_1 = M_3 = 0,001M_2$	1,284	1,281	1,280	1,280	1,280
$M_1 = M_3 = 0,0001M_2$	1,284	1,284	1,284	1,283	1,282

Следует обратить внимание на тот факт, что введение неупругих связей масс M_1 и M_3 с разными диссипативными свойствами способствуют увеличению скорости затухания собственных колебаний системы «пролетное строе-

ние + две дополнительные массы на жестких консолях, расположенных на его концах».

На рис. 6 представлена виброграмма собственных затухающих колебаний системы «пролетное строение + две дополнительные массы

$M_1 = M_3 = 0,05M_2$ на жестких консолях» (неупругие связи отсутствуют). Логарифмический декремент, характеризующий темп затухания собственных колебаний, равен $\delta = 0,0693$.

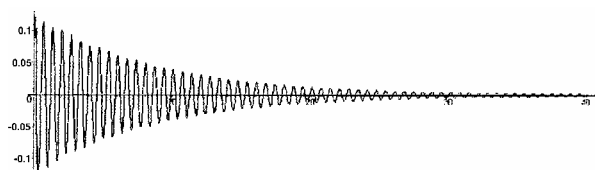


Рис. 6

Виброграмма собственных затухающих колебаний той же системы, но с неупругими связями масс M_1 и $M_2 = 0,005M_2$ (рис. 7), коэффициенты сопротивления которых $h_1 = 4h_2$, характеризуется декрементом колебаний $\delta = 0,098$.

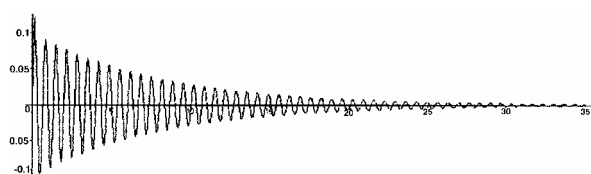


Рис. 7

Увеличение коэффициента неупругого сопротивления связей масс $M_1 = M_3 = 0,005M_2$ до $h_1 = 50h_2$ сопровождается дальнейшим повышением скорости затухания собственных колебаний (рис. 8).

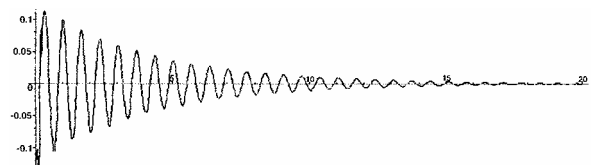


Рис. 8

Логарифмический декремент колебаний увеличивается до $\delta = 0,178$. Выполненные теоретические исследования влияния дополнительных масс на жестких консолях, расположенных на концах пролетного строения, позволяют сделать следующие выводы:

- динамическая система «пролетное строение + две массы на жестких консолях» позволяют регулировать периоды (частоты) собственных колебаний в широком диапазоне, благодаря чему исключается резонансный режим колебаний пролетных строений пешеходных мостов и повышается комфортность пешеходов;
- использование дополнительных масс на жестких консолях позволяет регулировать амплитуду вынужденных колебаний середины пролетного строения в широком диапазоне;
- увеличение диссипативных свойств неупругих сопротивлений дополнительных масс

способствует скорейшему затуханию собственных колебаний динамической системы «пролетное строение + дополнительные массы на жестких консолях».

Все это повышает комфортность пешеходов, надежность и долговечность пролетных строений пешеходных мостов.

Одним из эффективных и перспективных решений конструкционного гашения колебаний является расположение демпферных устройств между торцами смежных пролетных строений или торцами пролетных строений и шкафными стенками устоев. При этом демпфирующее устройство может работать на сухом (рис. 9) или вязком трении (рис. 10) [5].

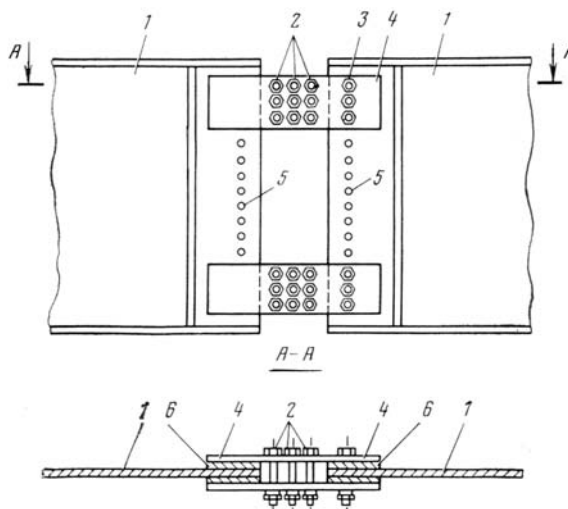


Рис. 9. Устройство для гашения колебаний разрезных пролетных строений мостов:

- 1 – стенка главной балки смежных пролетных строений;
- 2 – высокопрочные болты нажимного элемента;
- 3 – высокопрочные болты; 4 – парные пластины;
- 5 – монтажные отверстия в стенках главных балок;
- 6 – фрикционные прокладки

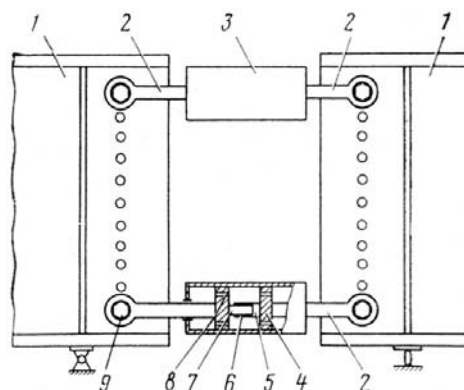


Рис. 10. Устройство для гашения колебаний разрезных пролетных строений:

- 1 – пролетное строение; 2 – шток; 3 – цилиндр;
- 4 – поршень; 5 – внешняя гильза; 6 – уплотнение между гильзами; 7 – внутренняя гильза; 8 – калиброванные отверстия в поршне; 9 – шарнир крепления.

Основное преимущество расположения демпферных устройств, при котором смежные пролетные строения неупруго соединены между собой, – увеличение общей колеблющейся массы каждого пролетного строения и гашение колебаний в устройстве. Эти устройства позволяют сохранять все преимущества разрезной системы, как, например, независимость от осадок опор, независимое температурное расширение–укорочение и т. д., в то же время позволяют исключить передачу демпфирующих сил на опоры.

Теоретические и натурные исследования с использованием демпфирующих устройств сухого трения выполнены на автодорожных сталежелезобетонных пролетных строениях длиной 42,5 м.

Пролетное строение испытывалось подвижной нагрузкой без демпфирующего устройства и с устройством с разной степенью зажатия парных пластин. В результате выполненных экспериментальных исследований достигнуто увеличение декремента колебаний в 2,5 раза по сравнению с декрементом колебаний пролетного строения без демпфирующего устройства (рис. 11). Увеличение логарифмического декремента колебаний с усилением демпфирования сопровождалось снижением амплитуд вынужденных колебаний, характеризуемых динамическим коэффициентом $(1+\mu)$ – отношением динамического прогиба к статическому (рис. 12). Разница между теоретическими и экспериментальными динамическими коэффициентами обусловлена невозможностью теоретического учета микропрофиля проезжей части моста.

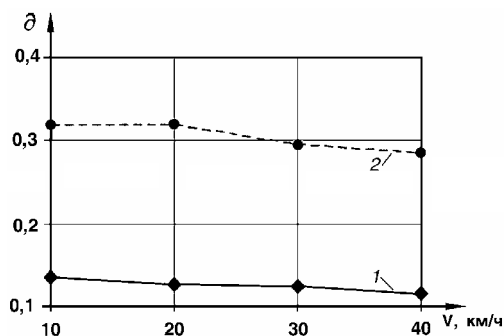


Рис. 11. Значения логарифмического декремента колебаний пролетного строения:
1 – без демпфирования; 2 – с демпфированием

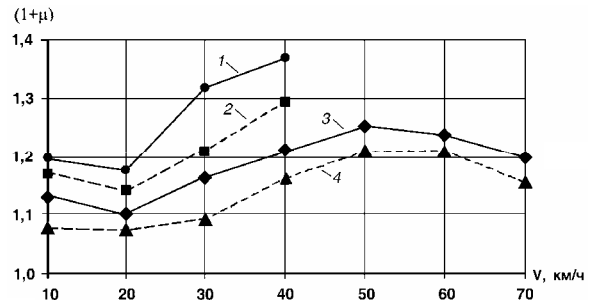


Рис. 12. Зависимость динамического коэффициента от демпфирования колебаний при различных скоростях движения испытательной нагрузки:
1 – экспериментальные динамические коэффициенты без демпфирования; 2 – то же с демпфированием; 3 – теоретические динамические коэффициенты без демпфирования; 4 – то же с демпфированием

Рассмотренные способы гашения колебаний мостовых конструкций свидетельствуют об их самодостаточности и эффективности.

Гашение опасных и вредных колебаний пролетных строений, их отдельных элементов обеспечивает повышение их надежности и долговечности и повышает комфортность пользователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загора А. Л. Гашение колебаний мостовых конструкций / А. Л. Загора, М. И. Казакевич. – М.: Транспорт. 1983. – 134 с.
2. Kazakevitch M., Zakora O. Cable stabilization for wind and moving load effect. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 74-76 (1998) 995-1003.
3. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. Минстрой России. – М., 1996 – 200 с.
4. Загора А. Л. Регулирование частот и гашение колебаний пролетных строений пешеходных мостов. Сб. «Автомобильные дороги и дорожное строительство», № 59 УТУ, 2000, – С. 53–58.
5. Zakora O. Design damping of oscillations of span constructions of bridges. Proceedings of the 2nd International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering, Slovak Republic, May 19–22, 2003.

Поступила в редколлегию 14.09.2004.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Запропоновано визначити втрати електроенергії у трансформаторах тягових підстанцій змінного струму статистичними методами.

Предложено определять потери электроэнергии в трансформаторах тяговых подстанций переменного тока статистическими методами.

It is proposed to determine losses of electric power in transformers of a.c. tractive substations by statistical methods.

Формулы, применяемые для расчета потерь активной, реактивной и полной мощности в тяговых трансформаторах переменного тока, содержат углы сдвига фаз токов по плечам питания либо требуют разложения этих токов на активную и реактивную составляющие. Для упрощения вычислений в эксплуатационной и проектной практике зачастую принимают углы сдвига токов равными, учет же этих углов сильно затрудняет процесс измерения потерь мощности.

Для соединенных в звезду первичной и районной обмоток расчет потерь мощности в них не вызывает затруднений, так как:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_1 &= r_1 (I_{1A}^2 + I_{1B}^2 + I_{1C}^2), \\ \Delta P_p &= r_p (I_{pA}^2 + I_{pB}^2 + I_{pC}^2), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ΔP – потери мощности в первичной обмотке; активное сопротивление одной фазы первичной обмотки трансформатора, приведенное к первичному напряжению

$$r_1 = 0,5 U_{1н}^2 P_{кз} / S_n^2;$$

активное сопротивление фазы районной обмотки (коэффициент γ принимается равным 0,5 или 0,75 в зависимости от конструктивного исполнения районной обмотки)

$$r_p = \gamma U_{p.н}^2 P_{кз} / S_n^2;$$

$I_{1A}^2, I_{1B}^2, I_{1C}^2, I_{pA}^2, I_{pB}^2, I_{pC}^2$ – фазные токи первичной и районной обмоток соответственно; S_n – номинальная мощность тягового трансформатора; $U_{1н}$ и $U_{p.н}$ – линейные напряжения

первичной и районной обмоток соответственно; $P_{кз}$ – мощность короткого замыкания.

Для тяговой обмотки трансформатора затруднения связаны с необходимостью определения фазных токов, которые являются попарными геометрическими суммами линейных токов, взятых с определенными весовыми коэффициентами. При возведении в квадрат указанных сумм неизбежно появляются углы сдвига фаз токов левого и правого плеч питания.

Чтобы избавиться от учета углов сдвига фаз при определении потерь мощности, в тяговой обмотке можно использовать, например, метод предложенный в [1]. По данной методике токи в фазах тягового трансформатора при известных токах левого и правого плеч питания определяются следующим способом:

$$\left. \begin{aligned} I_A &= \frac{1}{3} \sqrt{2I_{л}^2 + 2I_{п}^2 - I_{п}^2}, \\ I_B &= \frac{1}{3} \sqrt{2I_{л}^2 + 2I_{п}^2 - I_{п}^2}, \\ I_C &= \frac{1}{3} \sqrt{2I_{п}^2 + 2I_{л}^2 - I_{л}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Потери мощности в тяговой обмотке будут определяться формулой

$$\Delta P_T(t) = r_{Tф} [I_{л}^2(t) + I_{п}^2(t) + I_{п}^2(t)], \quad (3)$$

где $r_{Tф}$ – сопротивление тяговой обмотки, приведенное к фазному напряжению.

С учетом формул (1) и (3) потери мощности в тяговых трансформаторах могут быть определены по формуле:

$$\Delta P(t, k) = kP_{xx} + \frac{1}{k} \left\{ r_1 \left[I_{1A}^2(t) + I_{1B}^2(t) + I_{1C}^2(t) \right] + \right. \\ \left. + r_p \left[I_{pA}^2(t) + I_{pB}^2(t) + I_{pC}^2(t) \right] + \right. \\ \left. + r_{T\phi} \left[I_l^2(t) + I_n^2(t) + I_p^2(t) \right] \right\}, \quad (4)$$

где запись $\Delta P(t, k)$ означает, что берутся потери активной мощности в момент времени t при условии, что включены на параллельную работу k тяговых трансформаторов; P_{xx} – постоянные потери.

Для потерь реактивной мощности можно составить аналогичное уравнение:

$$\Delta Q(t, k) = 10^{-2} k I_0 S_n + \frac{1}{k} \left\{ x_1 \left[I_{1A}^2(t) + \right. \right. \\ \left. + I_{1B}^2(t) + I_{1C}^2(t) \right] + x_p \left[I_{pA}^2(t) + I_{pB}^2(t) + I_{pC}^2(t) \right] + \\ \left. + x_T \left[I_l^2(t) + I_n^2(t) + I_p^2(t) \right] \right\}, \quad (5)$$

где I_0 – ток холостого хода трансформатора; x_1 , x_p , x_T – индуктивные сопротивления первичной, районной и тяговой обмоток трансформатора, выраженные через соответствующие напряжения короткого замыкания.

Интегрирование выражений (4), (5) позволяет перейти от потерь мощности к потерям активной энергии. Воспользуемся статистическими методами оценки потерь мощности и энергии в тяговых трансформаторах. Для этого представим процесс изменения тока нагрузки в виде следующей математической модели:

$$I(t) = m(t) + \varepsilon(t), \quad (6)$$

где $m(t)$ – математическое ожидание тока нагрузки, в общем случае зависящее от времени; $\varepsilon(t)$ – центрированная случайная составляющая.

Тогда математическое ожидание квадрата тока нагрузки будет иметь вид

$$M \left[I^2(t) \right] = M \left\{ \left[m(t) + \varepsilon(t) \right]^2 \right\} = m^2(t) + \sigma^2. \quad (7)$$

Средние потери активной и реактивной мощности с учетом выражений (4), (5) можно определить по формулам:

$$M \left[\Delta P(t, k) \right] = kP_{xx} + \frac{1}{k} \left\{ r_1 \left[m_{1A}^2(t) + m_{1B}^2(t) + \right. \right. \\ \left. + m_{1C}^2(t) \right] + 3r_p m_p^2(t) + r_{T\phi} \left[m_l^2(t) + m_n^2(t) + \right. \\ \left. + m_p^2(t) \right] + r_1 \left(\sigma_{1A}^2 + \sigma_{1B}^2 + \sigma_{1C}^2 \right) + 3r_p \sigma_p^2 + r_{T\phi} \left[\sigma_l^2(t) + \right. \\ \left. + \sigma_n^2(t) + \sigma_p^2(t) \right] \left. \right\} = kP_{xx} + \frac{1}{k} \left[M_a^2(t) + \sigma_a^2 \right]. \quad (8)$$

$$M \left[\Delta Q(t, k) \right] = 10^{-2} k I_0 S_n + \frac{1}{k} \left[M_p^2(t) + \sigma_p^2 \right], \quad (9)$$

где M_a , M_p , σ_a^2 , σ_p^2 – математические ожидания и дисперсии сумм случайных процессов, стоящих в правых частях равенств (8) и (9). Если с помощью статистического исследования определить числовые характеристики процессов изменения токов тяговой нагрузки, то последующее интегрирование позволит рассчитать среднесуточные потери энергии в тяговых трансформаторах, что важно знать как для учета потерь в системе электроснабжения, так и для оценки эффективности управления устройствами системы.

Для оценки потерь реактивной мощности важно знать их величину в период минимума и максимума нагрузки. Колебания реактивных потерь в тяговом трансформаторе следует учитывать при выборе мощности компенсирующих устройств, при решении вопроса рационального перехода на параллельную работу тяговых трансформаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог, – М.: Транспорт, 1982. – 582 с.
2. Карякин Р. Н. Тяговые сети переменного тока. – М.: Транспорт, 1987. – 279 с.

Поступила в редколлегию 27.09.2004.

ВЫРАБОТКА РЕШЕНИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И ИНТЕГРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА

Розглядається концептуальний підхід інтеграції виробництва з урахуванням міжсистемних зв'язків.

Рассматривается концептуальный подход интеграции производства с учетом межсистемных связей.

The paper examines a conceptual approach to the integration of production with account of intra-system links.

Введение

Многие территориальные и практические проблемы восстановления и размещения производства исследованы недостаточно. Поэтому для разрешения проблемы развития и размещения производства необходима гибкая методика моделирования процессов, отражающая многообразие связей между участниками системы, т. е. поставщиками сырья, транспортными условиями, производством, перевозкой и сбытом продукции, ценами.

Использование модели линейного программирования не отражает увязку многообразных участников интегрированного процесса. Кроме этого, требуется конструирование моделей, используемых число переменных, отражающих суть ситуаций и не требующих больших затрат времени на формирование исходных модулей. Поэтому модель не должна зависеть от действия отдельных факторов, она должна быть универсальной, все изменения должны отражаться исходными данными. Необходимые межсистемные связи отражаются в модели и ее размер зависит только от широты охвата заинтересованных участников.

Постановка задачи

Для решения проблемы восстановления и развития и размещения производства предлагается использовать сетевую модель с ограниченной пропускной способностью. Рассматривается граф $G(U, A)$, U – множество узлов, A – множество дуг [3]. Модель должна отражать реальные условия поставок сырья (обязательные закупки), стоимость сырья и продукции, уровни производства, себестоимость производства, стоимость транспортировки продукции, а также показатель спроса. Структура

модели зависит от объема элементов, включаемых в нее, и от реальных возможных связей и отношений поставок сырья, объемов поставок, их стоимости и перевозки.

Для использования методики определения оптимального решения размещения производства следует выполнить две процедуры:

1. Сформулировать исходную задачу в виде потоковой задачи, имеющей ограниченную пропускную способность.

2. Задать начальные значения двойственных переменных π_k (узловых чисел) и начальную циркуляцию (f_{ij}) , удовлетворяющую условие сохранения потока.

Что касается первой процедуры, то рассмотрим сначала конфигурацию модели с одним источником и стоком (которые в действительности могут являться главным источником и главным стоком). Данная конфигурация представлена на рис. 1.

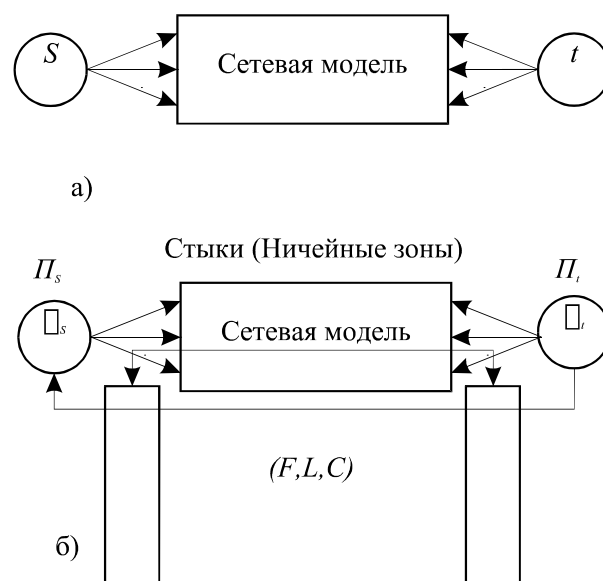


Рис. 1. Открытая и замкнутая модели с ограниченной пропускной способностью

Для построения системы типа замкнутой петли необходимо ввести дугу, соединяющую узел t с узлом S . Эта дуга называется возвратной. Для нее определяются такие же характеристики, как и для всех остальных дуг $(i, j) \in A$, а именно: ей приписывается три значения: пропускные способности и стоимость (F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}) и двойственные переменные π_s и π_t . Конфигурация полной сети, образованной после введения возвратной дуги, показана на рис. 1, б.

Таким образом, для составления модели необходимо иметь как значения тройки (F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}) , так и знать полную ситуацию всего комплекса процессов, фактические связи с поставщиками, возможные реальные объемы поставок сырья, его стоимость и объемы. Перевозимое сырье определяет объемы производства продукции в пунктах ее изготовления.

Результаты исследования

В основе изготовления продукции находится та или иная технология производства, определяющая его себестоимость и возможные границы (диапазон) производства.

Продукция следует к потребителям, готовым принять ее, от минимально возможного объема до максимально необходимого, при этом роль играют отпускные цены и транспортные издержки.

Объединяющая модель восстановления и размещения производства особо актуальна в условиях глобализации, интернационализации и интеграции усилий, где требуются согласованные действия, а на стыках и в «ничейных зонах» проявляются потенциальные неприятности, слабо контролируемые действия и сбои, нехватка информации при координировании работ, информационная неразбериха и закрытость, запутанность, дублирование и перекрывание функциональных действий, враждебность внутри системы, правовая неграмотность (рис. 2).

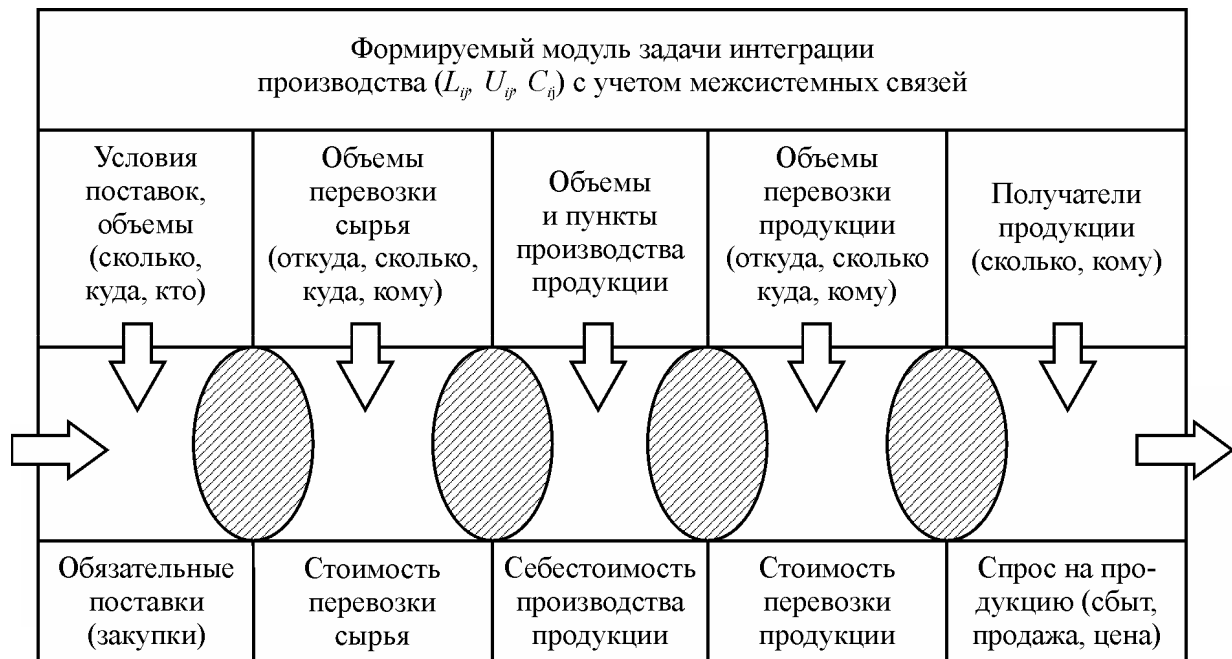


Рис. 2. Интеграция участников производства

Здесь имеется чрезвычайная сложность исходного материала и большая простота и ясность конечного результата. Предлагаемый подход в компоновке модели позволяет видеть одновременно целое и детали, движение материальных потоков и их статику, и отличается структурой конструкции топологии, концептуальным подходом и философией раскрытия решения проблемы.

Такая модель отражает все связи, отношения, образующих целостное единство, важные для конкретных потребителей (узлов), и реше-

ние задачи заключается в определении таких потоков по дугам (f_{ij}) , которые определяют оптимальное решение, т. е. суммарная стоимость прохождения потока должна быть минимальна. Общий вид модели показан на рис. 3.

Как видно из рис. 3, модель по горизонтали компонована из структурных блоков, которые в зависимости от конкретных особенностей моделируемой ситуации отражают физический смысл и объем задачи: обязательные закупки сырья, стоимость его производства, себестои-

мость перевозки продукции, показатель спроса продукции. Физический смысл каждой дуги носит универсальный характер и отражает объем производства (тыс. шт. кирпича, м³ произ-

водства ЖБК, м². производства столярных изделий, тыс. кВт, тонны зерна, цемента, угля, нефти и т. д.). В общем случае любая физическая величина имеет название – поток (f_{ij}).

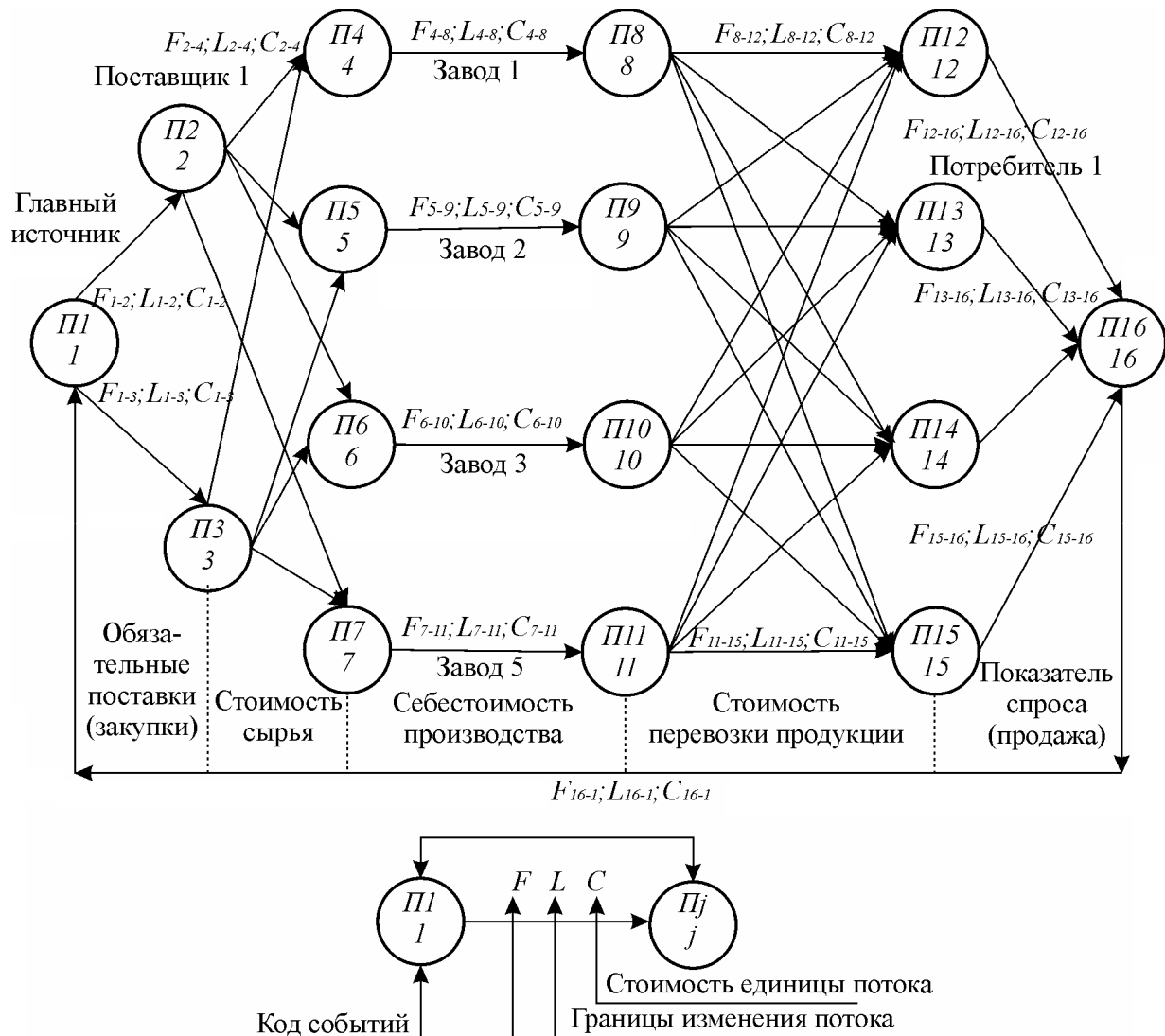


Рис. 3. Модель производства и распределения

Отличие возвратной дуги имеет то значение, что, будучи идентичной по смыслу всем операциям, она является средством корректировки потока по замкнутому циклу. Это ценное свойство используется в алгоритме и не позволяет нарушать условие сохранения (равновесие узлов).

Таким образом, предложенная модель обладает новизной как в части формализации и включения в нее межсистемных связей, нейтрализующих негативные воздействия, перечисленные ранее, так и в методе решения задачи путем использования возвратной дуги, способствующей перераспределению потоков с целью оптимизации решения. Такой подход является методологически полным, экономически актуальным и нормативно авторитетным.

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.

Для ответа на поставленные вопросы необходим нетрадиционный подход к разработке структуры модели, она должна отражать всю взаимосвязь элементов системы восстановления, размещения производства, быть информативной и понятной. Она должна объединить производство и распределение, и отражать обязательные поставки (закупки) сырья, его стоимость, себестоимость переработки (производ-

ства), стоимость транспортировки продукции и показатель спроса (продажи).

Предлагаемый подход к построению модели исходит из того, что целое всегда обладает такими свойствами, которых нет у его частей, но они появляются вследствие совместной работы на основе взаимной зависимости и условий достижения целей. Это снижает риск и увеличивает доход, имеет сходство с идеей формирования оптимального инвестиционного портфеля.

Критерием оптимальности решения является минимизация стоимости всего процесса, объединяющегося моделью производства как ориентированная сетевая модель.

Решение 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.

Дана сетевая модель, $(i, j) \in A, F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}$ требуется найти решение, (f_{ij}, π_i) , которое минимизирует целевую функцию

$$L(f) = \sum C_{ij} f_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При ограничениях на пропускную способность дуг

$$f_{ij} \leq F_{ij}, (i, j) \in A, \quad (2)$$

$$f_{ij} \geq L_{ij}, (i, j) \in A. \quad (3)$$

Для того, чтобы количество продукта, поступающего в узел, равнялось количеству продукта, выходящего из этого узла, требуется выполнение условия сохранения потока.

Для всех $i \in U, i \neq j$

$$\sum f_{ij} - \sum f_{ji} = 0. \quad (4)$$

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

$$L(f) = \sum -C_{ij} f_{ij} \rightarrow \max,$$

при ограничениях:

Для всех $i \in U$

$$\sum f_{ij} - \sum f_{ji} = 0$$

(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

$$Z(x) = \sum F_{ij} \alpha_{ij} - \sum L_{ij} \delta_{ij} \rightarrow \min,$$

при условии, что:

Для всех $(i, j) \in A$

$$x_i - x_j + \alpha_{ij} - \delta_{ij} \geq -C_{ij},$$

x_i не имеет ограничений по знаку для всех $i \in U$.

Для всех $(i, j) \in A$

$$\alpha_{ij} \geq 0, \quad \delta_{ij} \geq 0.$$

Переменные x_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.

Вывод

В результате выполненного исследования по восстановлению, размещению и развитию производства предложен новый подход к разработке модели в составе подготовки производства. Науч-

но-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 [5].

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.

Основные составляющие выводов сводятся к следующему:

1. Разработанная модель восстановления, размещения и развития производства, основанная на возможностях учета межсистемных связей, позволяет решать проблему в единой системе, охватывающей важнейшие связи всех ее участников.

2. Научная новизна предложенного метода заключается в конструировании модели, отражающей единство всего межсистемного цикла: сырье – транспорт – производство – распределение – спрос – плавающие цены.

3. Предложенный метод решения задачи на базе алгоритма исключения дефекта (АИД)

имеет преимущества и достоинства в сравнении с использованием процедуры симплекс-метода, транспортного алгоритма, обладает физической и экономической интерпретацией, отличается тем, что способствует перераспределению потоков в сети.

4. Разработанная программа ПОТОК доказала высокую работоспособность, сняла все трудности в практической реализации задач организационно-технологической подготовки восстановления, развития и размещения производства, метод можно использовать для решения аналогичных проблем в других отраслях Украины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков и др. – М.: SVP Apsys, 1994. – 427 с.
2. Миллер В. ПЕРТ – система управления: Пер. с англ. – М.: Экономика, 1965. – 140 с.
3. Павлов И. Д. Модели управления проектами: Учебное пособие / И. Д. Павлов, А. В. Радкевич. – Запорожье, ГУ «ЗИГМУ», 2004. – 320 с.
4. Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас; Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
5. Форд Л. Р. Потоки в сетях / Л. Р. Форд, Д. Фалкерсон; Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 276 с.

Поступила в редколлегия 04.10.04.

ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКОВИХ ПРОГІННИХ БУДОВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШПРЕНГЕЛІВ І ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТРИЖНІВ

Розглянуто способи підсилення залізобетонних балкових прогонових будов із звичайною стрижневою арматурою з використанням шпренгелів і попередньо напружених стрижнів.

Рассмотрены способы усиления железобетонных балочных пролетных строений с обычной стержневой арматурой с использованием шпренгелей и предварительно напряженных стержней.

The methods of intensifying the reinforced-concrete beam spans, fitted with conventional beam-type reinforcement elements, with the use of tie beams and prestressed rods have been examined.

Корозія бетону під впливом атмосферних факторів, погана гідроізоляція прогонових будов або повна її відсутність у деяких випадках, погане утримання штучної споруди, дефекти, що виникли з різних причин, усадка та повзучість бетону тощо нерідко призводять до зниження вантажопідйомності (втрати міцності) конструкцією внаслідок передчасного фізичного зносу [1]. Ці фактори і є основними причинами необхідності підсилення прогонових будов.

Підсилення масивних прогонових будов внаслідок їх морального виконується надзвичайно рідко.

Підсилення прогонових будов може здійснюватися такими способами:

- збільшенням поперечного перерізу робочої арматури;
- зміною їх статичної схеми;
- улаштуванням додаткових розвантажувальних пристроїв.

Перші два способи застосовуються при незначній втраті несучої здатності прогонової будови.

Третій спосіб застосовується головним чином при значній втраті прогоновою будовою своєї несучої здатності.

Залізобетонні прогонові будови підсилюють без розвантаження від власної ваги у зв'язку з тим, що здійснити це буває практично неможливо.

Як правило, для підсилення прогонової будови із ненапруженою арматурою використовується спосіб, що включає приварку до існуючої арматури додаткових стрижнів у зоні максимальних згинальних моментів.

Підсилення прогонових будов способом, що передбачає нарощування балок знизу, неможливо використати на спорудах, які мають лімі-

товані підмостові габарити, а саме: шляхопроводи через залізниці або автомобільні дороги, трамвайні та тролейбусні лінії тощо.

Спосіб підсилення прогонових будов додаванням робочої арматури придатний тільки для прогонових будов з ненапруженою арматурою і непридатний для попередньо напружених прогонових будов.

Найбільш ефективним способом підсилення прогонових будов за наявності в них великої кількості тріщин, що розвиваються, є улаштування залізобетонної оболонки (рис 1).

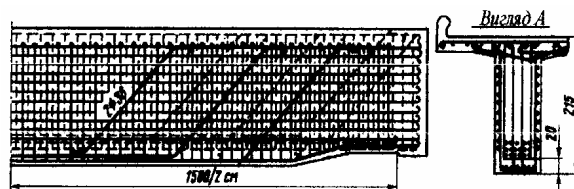


Рис. 1. Арматування залізобетонної оболонки

Головні балки ребристих прогонових будов підсилюють збільшенням площі робочої арматури не тільки нижнього поясу, але і стінок. Головні балки прогонової будови заключають у залізобетонну оболонку, яка має товщину знизу 15...20 см і 5...7 см з боків.

Основна додана арматура складається із трьох видів стрижнів, а саме:

- із тих, що приварені до існуючих;
- із тих, що відгинають вверх по бокових гранях балок;
- із тих, що обриваються в розтягненій зоні бетону.

По бокових гранях балок необхідно встановлювати горизонтальні стрижні діаметром 10...12 мм, які прив'язують до хомутів, що обхоплюють арматуру в нижній зоні. Хомути сво-

їми верхніми кінцями приварюють до арматури плити баластного корита, а нижніми – до робочої арматури головних балок прогонової будови. Залізобетонну оболонку бетонують у дерев'яній опалубці.

У тому разі, коли за результатами розрахунку підсилення прогонової будови необхідно збільшувати площу стисненої зони бетону при підсиленні автодорожніх прогонових будов використовують залізобетонну накладну плиту [2]. Слід враховувати, що влаштування накладної залізобетонної плити потребує дуже великих перерв у русі поїздів і на одноколіїних лініях неприйнятне. На двоколіїних лініях такий спосіб може бути використаним, але доцільність його використання повинна бути підтверджена техніко-економічним обґрунтуванням.

Можливості підсилення прогонових будов залізничних мостів зміною їх системи дуже обмежені [3]. З конструктивних міркувань, а також із вимог мінімального обмеження руху поїздів під час проведення ремонтних робіт, для підсилення використовують шпренгелі. Принципові схеми можливих шпренгелів наведені на рис. 2.

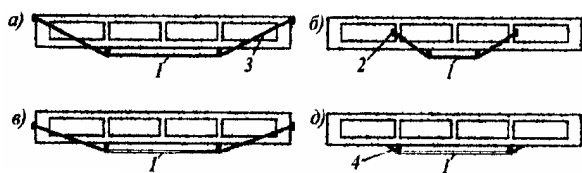


Рис. 2. Схеми можливих шпренгелів для підсилення прогонових будов:

1 – шпренгель; 2 – анкер; 3 – розпірка; 4 – упор

Шпренгелі мають по дві вітки, які розташовані симетрично відносно ребра кожної балки. За своїм обрисом шпренгелі можуть бути полігональними (див. рис. 2, а-в), або прямолінійними (див. рис. 2, д).

При використанні для підсилення прогонових будов прямолінійних шпренгелів у балках зменшуються тільки згинальні моменти. Для зменшення згинальних моментів і поперечних сил необхідно застосовувати шпренгелі з полігональним обрисом.

Шпренгелі виготовляються із тросів, стрижнів високоміцної арматури, високоміцного дроту. Велику увагу треба приділяти захисту шпренгелів від корозії, особливо у виготовленні їх із тросів і пучків. Для включення шпренгелів у сумісну роботу із прогоною будовою їх натягують.

При підсиленні балок шпренгелями найбільш відповідальною задачею є вибір конструкції закріплення шпренгелів на кінцях, знизу та збоку балок.

У будь-якому разі доцільність підсилення прогонових будов мосту повинна встановлюватися на підставі техніко-економічного порівняння. Всі роботи по збільшенню вантажопідйомності прогонових будов мостів виконуються згідно з розробленою проектно-кошторисною документацією [4].

БІБЛІОГРАФИЧНИЙ СПИСОК

1. Железобетонные конструкции (расчет и конструирование) / Под ред. С. А. Ривкина. – К.: Будівельник, 1972. – 785 с.
2. Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов. ВСН 51-88. – М.: Транспорт, 1990. – 128 с.
3. Анципировский В. С. Содержание и реконструкция железнодорожных мостов / В. С. Анципировский, В. О. Осипов, К. К. Яковсон. – М.: Транспорт, 1975. – 240 с.
4. Матвеев В. К., Современные методы обследования автодорожных мостов, опнт Т. К. М. // Мосты: Сб. науч. тр. – М.: МГУПС. – 1997. – 251 с.

Надійшла до редколегії 04.07.2004.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПРОГІННИХ БУДОВ ТИПУ 690/7К

Розглянуто результати теоретичних досліджень перших шести форм вільних коливань металевих прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м, виготовлених за типовим проектом 690/7К.

Рассмотрены результаты теоретических исследований первых шести форм свободных колебаний металлических пролетных строений с расчетным пролетом 110 м, изготовленных по типовому проекту 690/7К.

The paper considers the outcomes of theoretical research of the first six forms of free vibration of metallic span structures with design span of 110 m, manufactured under the standard project 690/7K.

На залізничній мережі країн СНД експлуатуються виготовлені за індивідуальними проектами і типові металеві прогінні будови. Серед типових прогінних будов для перекриття великих прогонів багато і таких, що виготовлені за типовим проектом 690/7 і 690/7К.

Під час експлуатації мости, крім статичних навантажень, зазнають також і динамічних навантажень, до яких відносяться сили інерції. Сили інерції збільшують напруження в елементах мостових конструкцій і можуть створювати ускладнення для їх нормальної експлуатації [1].

У сучасних умовах введення на залізничному транспорті нових типів рухомого складу з підвищеними навантаженнями на осі й швидкісного руху пасажирських поїздів, дослідження динаміки прогінних будов мостів отримує особливу актуальність. Розглядати взаємодію такої складної системи, як система «прогінна будова + поїзд» неможливо без знання динамічних характеристик вільних коливань безпосередньо прогінної будови.

Нижче розглядаються динамічні характеристики вільних коливань металевих прогінних будов розрахунковим прогоном 110 м типу 690/7К. Раніше теоретичні дослідження власних просторових коливань таких прогінних будов не провадилися.

Типовий проект 690/7К прогінних будов із величиною розрахункового прогону 110 м розробив Діпротрансміст у 1968 р. Прогінні будови мають їзду низом. Головні ферми висотою 15 м мають паралельні пояси і трикутну решітку з додатковими стояками і підвісками. Довжина панелі головних ферм – 11,0 м, довжина панелі вітрових в'язей – 5,5 м, відстань між осями головних ферм – 5,8 м.

Проїжджа частина включена в сумісну роботу з нижніми поясами головних ферм за допомо-

гою нижніх поздовжніх в'язей і спеціальних діафрагм. Всі елементи головних ферм зварні з монтажними з'єднаннями на високоміцних болтах. Перерізи поясів і розкосів коробчасті і складаються із двох вертикальних листів, верхнього горизонтального суцільного і нижнього горизонтального перфорованого листа. Висота перерізу елементів для поясів прийнята 650 мм, для порталних розкосів 800 мм, для проміжних розкосів 650 і 450 мм. Ширина коробки однакова для всіх елементів головних ферм і дорівнює 526 мм.

Підвіски і стояки мають переріз Н-подібного типу. Стики поясів суміщені з вузлами головних ферм і розташовані через 11,0 м. Головні ферми з'єднані поздовжніми в'язями в площині нижніх і верхніх поясів, опорними поперечними в'язями (порталами) і поперечними в'язями у площині стояків. Нижні і верхні поздовжні в'язі мають хрестову решітку.

Дослідження роботи залізничних мостів при складних динамічних навантаженнях потребує знання параметрів вільних просторових коливань прогінних будов. З цією метою в галузевій науково-дослідній лабораторії штучних споруд Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна для визначення частот і форм вільних коливань металевих прогінних будов типу 690/7К використовувалися наближені формули і метод скінченних елементів.

Наближені формули

В існуючій літературі, яка стосується питань динамічного розрахунку залізничних мостів, наведена велика кількість формул, що дозволяють з різним ступенем точності визначити період, а отже, і частоту вільних коливань прогінних будов із наскрізними головними фермами. Вва-

жається, що для періодів вертикальних коливань досить точні результати можуть бути одержані при використанні формули [1]

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{\sigma_p}{E}} \cdot \frac{l}{\sqrt{h}},$$

де T – період вертикальних коливань, с; σ_p – середнє розрахункове напруження, яке виникає в поясах головних ферм в середині прогону від постійного навантаження, МПа; E – модуль пружності матеріалу прогінної будови, МПа; l – довжина розрахункового прогону, м; h – теоретична висота головних ферм, м.

За результатами обчислень період вільних вертикальних коливань прогінної будови дорівнює 0,433 с і відповідно частота 2,31 Гц.

Розрахункова величина періоду вільних горизонтальних коливань визначалась за формулою [3]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{C}},$$

де M – приведена маса прогінної будови; C – розрахункова характеристика горизонтальної жорсткості прогінної будови.

Отримане за цією формулою значення періоду вільних горизонтальних коливань дорівнює 1,106 с, що відповідає частоті коливань 0,90 Гц.

Період крутильних коливань прогінної будови визначається за формулою

$$T = 6l \left(5 + \frac{h}{b} \right) \cdot 10^{-4},$$

де h – теоретична висота головних ферм, м; b – відстань між осями головних ферм, м.

Розрахункові величини періоду і частот крутильних коливань дорівнюють відповідно 0,498 с і 2,01 Гц.

Система з дискретними масами

Для побудови форм просторових коливань і уточнення значень частот прогінної будови використовувалася також методика, що була розроблена канд. техн. наук В. П. Тарасенко і відома під назвою «методика ДІТу» [4]. Згідно з цією теорією основна система з нескінченною кількістю степенів вільності замінюється еквівалентною системою з декількома степенями вільності шляхом приведення мас. Крім того, в розрахунках нехтували поздовжніми деформаціями стояків головних ферм, розпірок вітрових ферм і поперечних балок.

З урахуванням прийнятих допущень отримана система має чотири степені вільності (рис. 1).

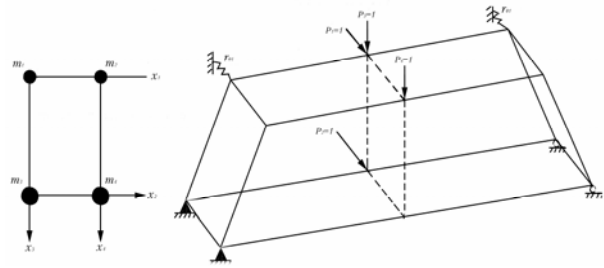


Рис. 1. Розрахункова схема прогінної будови

Для такої системи рівняння частот у матричній формі можна записати так:

$$|A_1 - \lambda E| = 0,$$

де λ – власне число матриці добутку $A_1 = AM$; E – одинична матриця; A – матриця одиничних переміщень; M – діагональна матриця мас.

Задача визначення частот і форм власних коливань зводиться до визначення власних чисел і векторів матриці A_1 .

Отримані перші три частоти власних коливань мають такі значення: $\nu_1 = 0,99$ Гц, $\nu_2 = 1,71$ Гц, і $\nu_3 = 2,34$ Гц. Форми деформації поперечного контуру в середині прогінної будови під час власних коливань прогінної будови наведені на рис. 2.

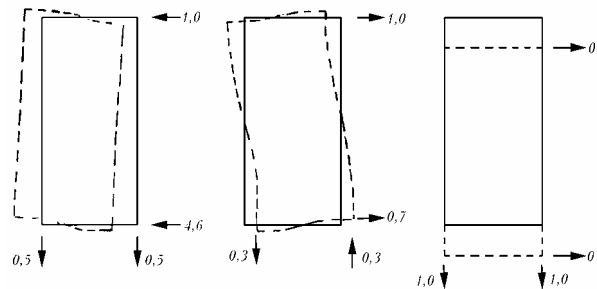


Рис. 2. Форми деформації поперечного перерізу в середині прогінної будови

У вертикальній площині форма деформації прогінної будови має вигляд півхвилі синусоїди.

При першій формі коливань деформація поперечного перерізу прогінної будови характеризується синфазними горизонтальними зміщеннями вітрових ферм і значно меншими зміщеннями головних ферм у вертикальній площині.

Друга форма коливань характеризується антифазними горизонтальними зміщеннями вітрових ферм і невеликим поворотом прогінної будови відносно центра крутіння.

Для третьої форми коливань характерні синфазні переміщення головних ферм прогінної будови при повній відсутності горизонтальних переміщень.

Система з дискретними масами

З метою визначення форм коливань для інших перерізів прогінної будови і аналізу спектра частот досліджувалися дві просторові розрахункові схеми з відповідними геометричними і жорсткісними характеристиками реальної конструкції.

Розподілені по довжині маси елементів прогінної будови замінювалися дискретними масами, величина яких визначалась за «правилом важеля». Передбачалось, що з'єднання елементів у вузлах головних ферм – жорстке.

Дискретні маси в розрахункових схемах розташовувалися в окремих вузлах головних ферм (рис. 3). Для кожної із цих мас враховувалися вертикальні, поздовжні і поперечні горизонтальні сили інерції.

У зв'язку з тим, що симетрична конструкція може мати тільки прямо або кососиметричні форми коливань, досліджувалися дві розрахункові схеми, які охоплювали всі можливі конфігурації системи під час просторових коливань.

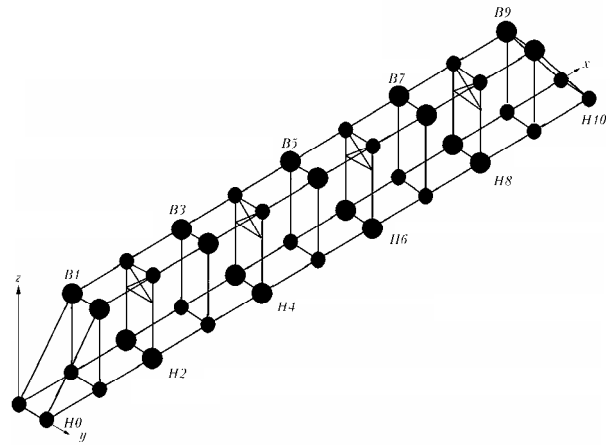


Рис. 3. Схема розташування зосереджених мас

На елементи, що перетинаються із поздовжньою площиною симетрії (верхні і нижні поздовжні в'язі поперечні в'язі, поперечні балки), наклали обмеження, що відповідали той чи іншій схемі, яка розглядається, і тим самим забезпечувалась робота прийнятої схеми і натурного об'єкта. Результати визначення частот коливань наведені в табл. 1.

Т а б л и ц я 1

Частоти власних коливань прогінної будови, Гц

Вид коливань	Форми коливань прогінної будови									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кососиметричні	1,06	1,69	2,46	3,07	3,86	4,79	5,40	6,37	7,18	7,89
Симетричні	2,28	4,99	6,29	9,22	13,35	14,18	14,81	16,01	17,33	19,92

Десять форм кососиметричних просторових коливань можна поділити на дві групи. До першої групи слід віднести перші чотири форми коливань, які відповідають коливанням елементів прогінної будови в горизонтальній площині (рис. 4, 5). Деяку відміну становить друга форма коливань з частотою $\theta_2 = 1,69$ Гц, де антифазні горизонтальні зміщення вітрових ферм супроводжуються вертикальними коливаннями головних ферм, але із значно меншими амплітудами.

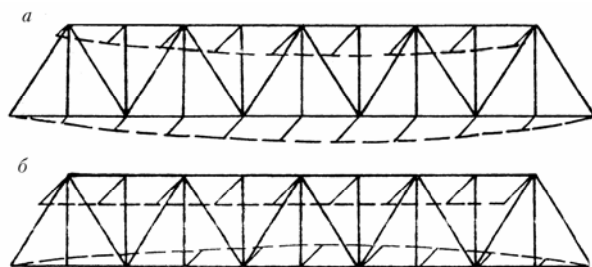


Рис. 4. Перші дві форми коливань:
а – частота коливань 1,06 Гц; б – частота коливань 1,69 Гц

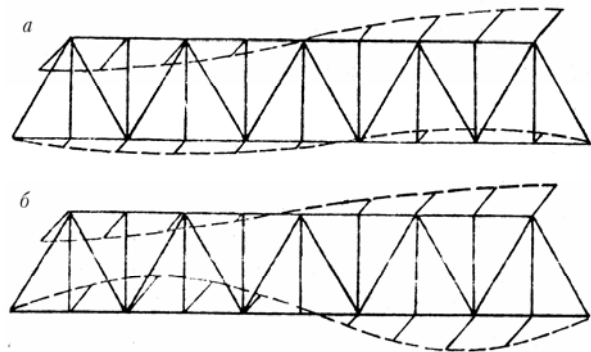


Рис. 5. Третя і четверта форми коливань:
а – частота коливань 2,46 Гц; б – частота коливань 3,07 Гц

Для другої групи частот характерна наявність коливань поясів ферм як в горизонтальній, так і в вертикальній площинах з приблизно рівними амплітудами.

Деформація поперечних контурів прогінної будови в перерізах В2-Н2, В5-Н5 і В8-Н8 при вільних коливаннях з частотами 3,86; 4,79; 5,40 і 6,37 Гц наведені на рис. 6.

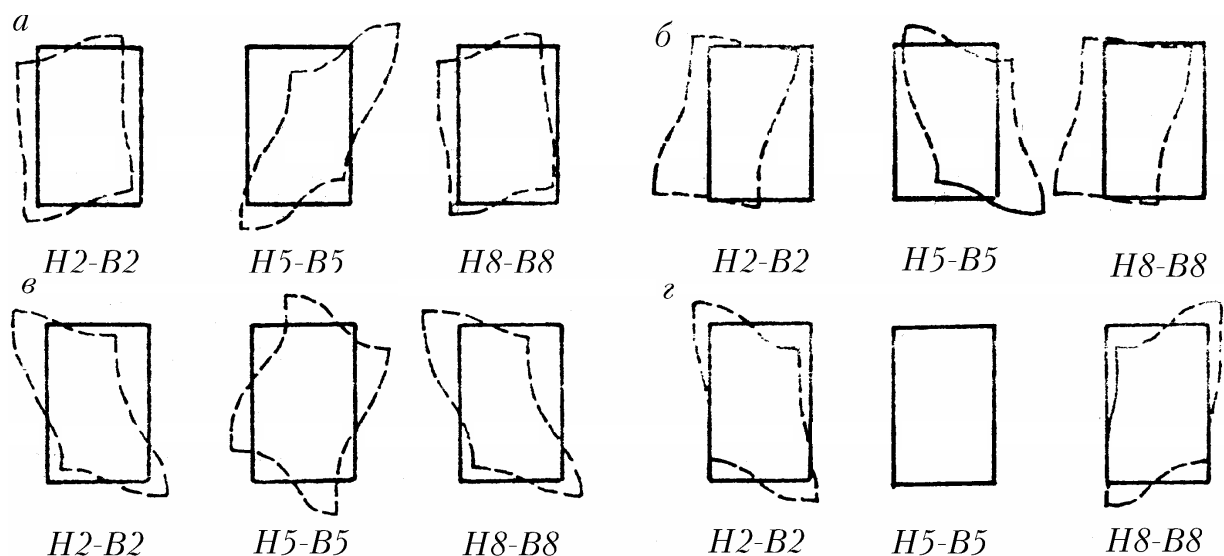


Рис. 6. Деформація контурів прогінної будови в перерізах B2-H2, B5-H5 і B8-H8:
а – частота коливань 3,86 Гц; б – частота коливань 4,79 Гц; в – частота коливань 5,40 Гц; г – частота коливань 6,37 Гц

При розгляді симетричних форм вільних коливань прогінної будови слід відмітити їх загальну особливість. Розгляд симетричної системи дає можливість отримати частоти і форми вільних просторових коливань у вертикальній площині. Деформація прогінної будови при вільних вертикальних коливаннях за першими чотирма формами наведена на рис. 7 і 8.

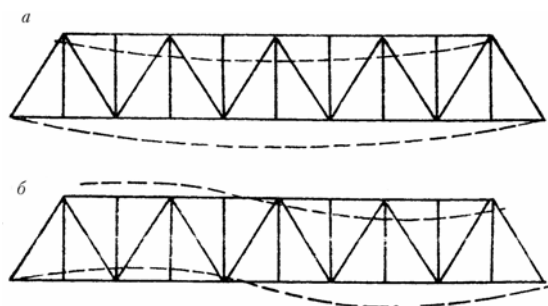


Рис. 7. Першим дві форми вертикальних коливань:
а – частота коливань 2,28 Гц; б – частота коливань 4,99 Гц

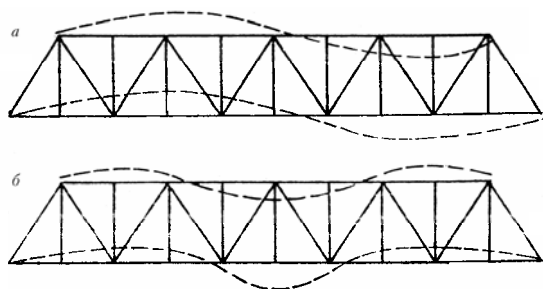


Рис. 8. Третя і четверта форми коливань:
а – частота коливань 6,29 Гц; б – частота коливань 9,22 Гц

Поздовжні переміщення кінця прогінної будови з боку рухомих опорних частин при вільних просторових коливаннях мають значну ве-

личину при другій і більш високих формах коливань у вертикальній площині.

Вільні просторові коливання

Задача вирішувалася з використанням метода скінченних елементів.

Під час досліджень вільних просторових коливань прогінної будови досліджувався також вплив сил інерції на частоти коливань. З цієї метою було розглянуто три розрахункові схеми. У першій схемі враховувалися вертикальні і поперечні горизонтальні сили інерції мас. Друга схема враховувала вертикальні і поздовжні горизонтальні сили інерції мас, а третя схема – горизонтальні поперечні і поздовжні сили інерції мас. Результати визначення частот коливань прогінної будови для розглянутих розрахункових схем наведені в табл. 2.

Перші шість форм просторових власних коливань прогінної будови наведені на рис. 9–14.

Перша форма просторових коливань з частотою 1,07 Гц характеризується синфазними поперечними зміщеннями вітрових ферм в горизонтальній площині (рис. 9). У вертикальній площині переміщення вузлів прогінної будови не відбувається.

Друга форма просторових коливань з частотою 1,69 Гц характеризується антифазними поперечними зміщеннями вітрових ферм в горизонтальній площині. На відміну від першої форми коливань, під час власних просторових коливань другої форми крім горизонтальних переміщень вузлів прогінної будови спостерігаються і вертикальні, але з незначними амплітудами.

Частоти власних коливань прогінної будови, Гц

Розрахункова схема	Форми коливань прогінної будови									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема № 1	1,07	1,69	2,42	2,44	3,04	3,77	4,40	5,34	5,63	5,94
Схема № 2	2,38	4,10	5,18	6,67	7,15	9,97	10,59	12,71	13,12	16,69
Схема № 3	1,07	1,71	2,43	3,04	4,05	4,46	5,05	5,62	6,11	7,69

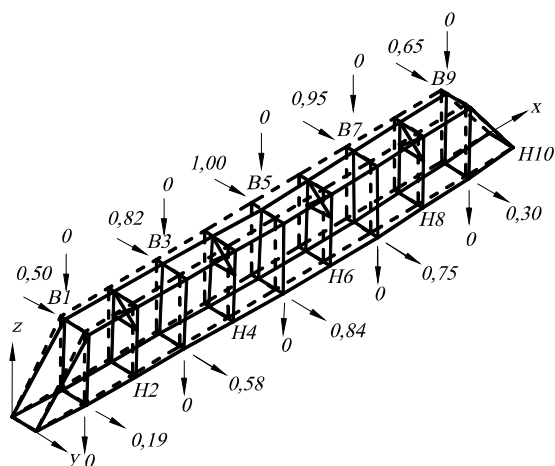


Рис. 9. Перша форма просторових коливань прогінної будови

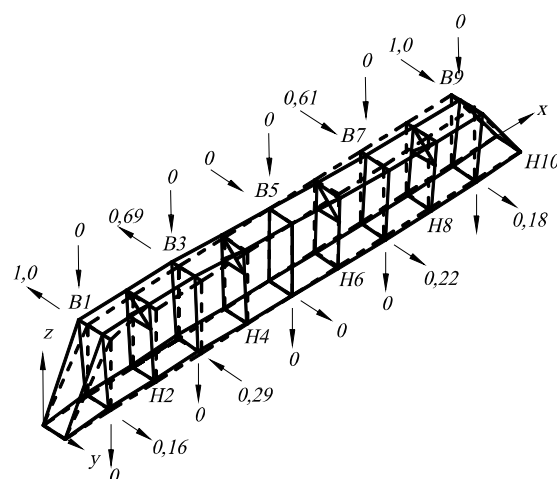


Рис. 11. Третя форма просторових коливань прогінної будови

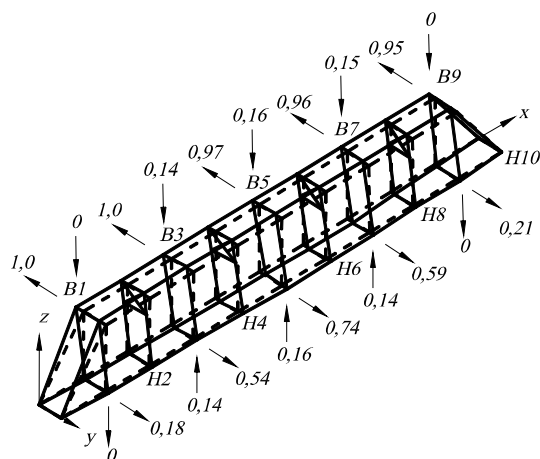


Рис. 10. Друга форма просторових коливань прогінної будови

У разі вільних просторових коливань прогінної будови з частотою 2,42 Гц (третя форма просторових коливань) переміщення вузлів вітрових ферм в горизонтальній площині відбуваються синфазно, але по двох півхвилях. Обидва портали прогінної будови переміщуються на однакову величину, але в протилежних напрямках. Поперечний переріз посередині прогінної будови не деформується. Переміщення вузлів головних ферм у вертикальній площині не спостерігається (рис. 11).

Подальша трансформація форм вільних просторових коливань прогінної будови відбувається за рахунок зростання амплітуд коливань у вертикальній площині. Коливання прогінної будови з частотою 2,44 Гц відповідають конфігурації прогінної будови, яка викликана синфазними переміщеннями головних ферм у вертикальній площині. У цьому випадку головні ферми прогінної будови зміщуються у вертикальній площині на значну величину. Переміщення вітрових ферм прогінної будови не спостерігаються (рис. 12).

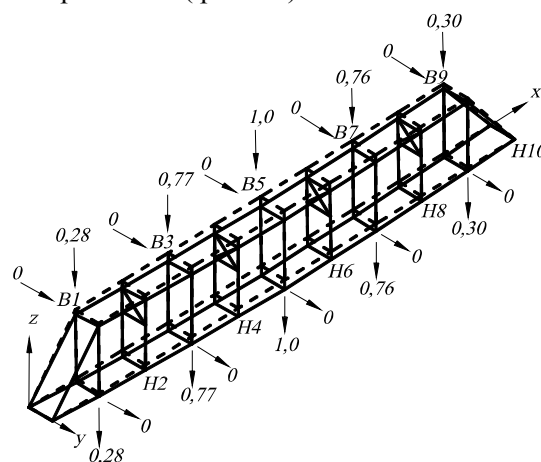


Рис. 12. Четверта форма просторових коливань прогінної будови

П'ята форма вільних просторових коливань з частотою 3,04 Гц характеризується антифазними поперечними зміщеннями вітрових ферм у горизонтальній площині і відповідає формі, яка припускалася в «теорії балдахіну» [2].

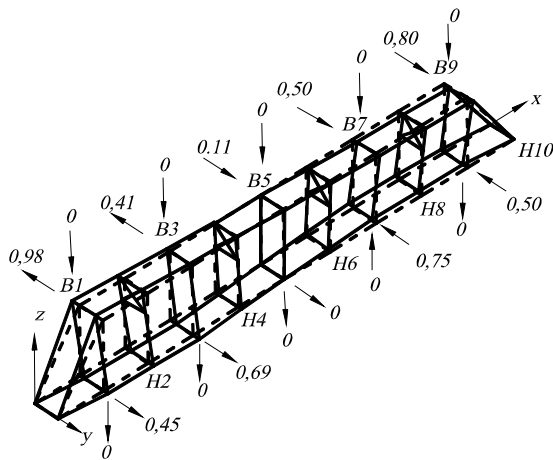


Рис. 13. П'ята форма просторових коливань прогінної будови

При збільшенні частоти вільних просторових коливань до 3,77 Гц зростанням амплітуд вертикальних коливань і перерозподіл інтенсивності коливань ніж верхньою і нижньою вітровими фермами (рис. 14).

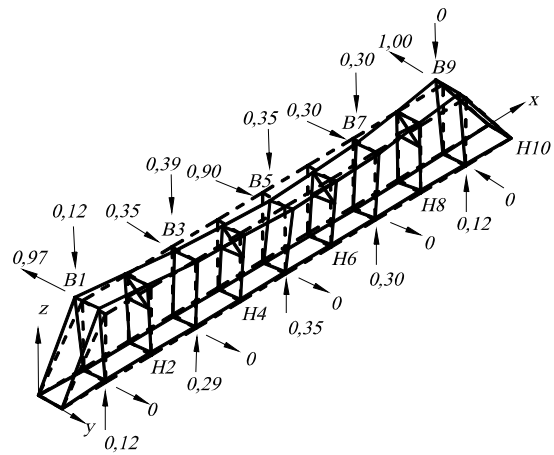


Рис. 14. Шоста форма просторових коливань прогінної будови

Такі коливання призводять до деформацій поперечних контурів прогінної будови і відносяться до коливань типу «бічна качка» [2].

Для перевірки розрахунків теоретичних частот вільних коливань прогінних будов, які виготовлені за типовим проектом інв. № 690/7к, дві прогінні будови випробували динамічним навантаженням [5] у вигляді поїздів і локомотивів, що обертаються на ділянці мосту. Значення частот, які були підраховані за різними методиками, в табл. 3 порівнюються з експериментальними [5].

Т а б л и ц я 3

Частоти і періоди вільних просторових коливань

Форма	Наближені формули		Теорія ДПТУ		Метод МСЕ		Експеримент	
	ν , Гц	T, с	ν , Гц	T, с	ν , Гц	T, с	ν , Гц	T, с
1	0,90	1,106	1,00	1,000	1,07	0,934	0,95	1,050
2	2,01	0,498	1,71	0,584	1,69	0,592	2,02	0,495
3	—	—	—	—	2,42	0,413	—	—
4	2,34	0,427	2,34	0,427	2,44	0,410	2,35	0,426
5	—	—	—	—	3,04	0,329	—	—
6	—	—	—	—	3,77	0,265	—	—

Досить хороший збіг розрахункових і експериментальних значень періодів і частот горизонтальних і вертикальних вільних просторових коливань прогінної будови спостерігається для першої форми вільних просторових горизонтальних коливань, а також для вертикальних коливань. Гірше відповідають експериментальним значенням частоти і періоди крутильних коливань, що були підраховані з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). У цьому випадку розходження становить 16 %, і очевидно, впливає той факт, що вся маса прогінної будови в розрахунку розподілялася по

вузлам головних ферм, що призводить до завищеного значення моменту інерції обертання і як наслідок – до більш низького значення крутильної частоти.

Частоти вільних просторових горизонтальних антифазних коливань верхніх вітрових ферм прогінної будови, які були визначені за наближеними формами, найбільше співпадають з експериментальними. Майже однаковий результат для крутильних і вертикальних вільних коливань прогінної будови отриманий при розрахунках за «методикою ДПТУ», однак у цьому випадку розходження з експериментом становить близько 19 %.

Частоти горизонтальних, крутильних і вертикальних вільних просторових коливань прогінної будови, які були визначені за наближеними формулами, найбільш точно співпадають з відповідними експериментальними.

Метод скінченних елементів вимагає великого обсягу робіт по підготовці даних для розрахунку, але дає найбільш наближений до експерименту результат тільки для синфазних горизонтальних коливань вітрових ферм і вертикальних коливань головних ферм.

На наш погляд, метод скінченних елементів слід застосовувати для визначення форм коливань прогінних будов з наскрізною решіткою в тому разі, коли необхідно мати більш високі частоти.

Для визначення перших трьох низьких частот коливань, якщо немає необхідності знати величини зміщення вузлів прогінної будови, найпростіше використати наближені формули.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарь Н. Г. Динамическое воздействие поездов на мосты. – Д.: Днепропетр. ин-т инженеров трансп., 1990.
2. Бондарь М. Г. и др. Динамика железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1965. – 412 с.
3. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200-62). – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 328 с.
4. Тарасенко В. П. Свободные пространственные колебания и жесткость балочных пролетных строений металлических мостов / Вопросы статики и динамики железнодорожных мостов: Тр. Днепропетр. ин-та инженеров жел. дор. трансп. – Д., 1961.
5. Борщов В. І. Динамічні випробування прогінної будови типу 690/7к / В. І. Борщов, М. К. Журбенко, Б. Д. Сухоруков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2004. – Вип. 3.

Надійшла до редколегії 25 05.04.

В. П. РЕДЧЕНКО (Спеціалізоване підприємство «Мост-сервіс»)

ВИПРОБУВАННЯ ПРОГІННИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ РУХОМИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Наведено методику та апаратно програмний комплекс для визначення структурних параметрів прогінної будови моста за результатами її випробувань рухомим навантаженням.

Представлены методика и аппаратно программный комплекс для определения структурных параметров пролетного строения моста по результатам его испытаний движущейся нагрузкой.

The paper presents a technique and the program complex for definition of structural parameters of span structure of highway bridges by results of their tests by moving load.

Визначення технічного стану мостів України є важливою задачею загальнодержавного значення, актуальність цього питання неодноразово підкреслювалася провідними спеціалістами галузі [1; 2]. При визначенні технічного стану прогінних будов моста важливу роль відіграє знання про її фактичні структурні (внутрішні) параметри [3; 4]. Серед останніх одними з найважливіших є статична та динамічна жорсткості прогінної будови, характер її просторової роботи та зусилля від постійного навантаження. Оцінку характеру просторової роботи та визначення статичної жорсткості прогонової будови рекомендується виконувати за результатами її статичних випробувань [5]. Відомі методи проведення статичних випробувань прогонових будов мостів вимагають на певний час зупиняти рух транспорту по споруді [5; 6], що при зростаючій інтенсивності руху стає досить складно та дорого. Методика визначення структурних параметрів прогонової будови за результатами її випробувань рухомим навантаженням, яка розроблена автором [7], дозволяє значно скоротити час натурних робіт у порівнянні зі статичними випробуваннями та в більшості випадків обходитися без закриття руху по споруді.

Визначення динамічних реакцій прогонової будови від дії рухомого навантаження відноситься до задач статистичної динаміки. Заміна рухомого навантаження нерухомим, яке змінюється за гармонічним законом значно спрощує математичний аналіз. Найбільш відомим є розв'язок задачі про динамічний відгук балки, по якій рухається сила, запропонований в минулому столітті академіком Криловим. Цей розв'язок увійшов в усі базові підручники з динаміки будівельних конструкцій. Для прогону середини балки з прогіном L під час руху по ній сили P зі швидкістю v , вказаний розв'язок описується таким рівнянням [8; 9]

$$y_{L/2}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{P\delta_{11}}{k^4(1-\beta_k^2)} \times \sin \frac{k\pi}{2} \left(\sin \frac{k\pi v}{L} t - \beta_k \sin k\omega_k t \right),$$

де δ_{11} – прогин балки від одиничної сили в середині прогону; ω_k – циклічна частота власних коливань балки k -ї форми;

$$\beta_k = \theta_k / \omega_k; \quad \theta_k = k\pi v / L.$$

Аналіз цього розв'язку, як і аналіз розв'язку системи диференціальних рівнянь для більш загального випадку, дозволив окреслити основні умови, обмеження та принципи визначення структурних параметрів прогонової будови за результатами її випробувань рухомим навантаженням. Дослідження динамічного відгуку МСЕ – моделі прогонової будови на рухоме навантаження дозволило ще раз підтвердити зроблені висновки. Остаточне формулювання вимог методики щодо навантаження, апаратно-програмного комплексу та алгоритмів визначення структурних параметрів прогонових будов виконувалося після ряду експериментальних робіт.

Розроблена методика дозволяє:

- отримувати лінії впливу загальних та місцевих деформацій характерних точок прогінних будов більшості типів автодорожніх мостів (оцінка просторової роботи прогінної будови);
- визначати статичну та динамічну жорсткості прогінної будови;
- визначати амплітудно-частотний спектр власних коливань прогінної будови;
- оцінювати та вести контроль постійного навантаження на прогінну будову.

Зміст методики полягає в отриманні сімейства віброграм контрольованих параметрів відгуку конструкції на рухоме навантаження та подальший їх обробці за певними алгоритмами. Як навантаження використовуються рухомі одиночні транспортні засоби як з загального транспортно-го потоку, так і спеціально підготовлені.

Для практичної реалізації методики було створено апаратно-програмний комплекс. Комплекс приладів для реєстрації динамічних реакцій прогонової будови складається з чотирьох основних блоків: блок живлення та синхронізації, блок датчиків, блок перетворення сигналів датчиків (АЦП) та їх запису на флеш-пам'ять (F), блок передачі даних з флеш-пам'яті в ПК. Загальна структурна схема комплексу наведена на рис. 1.

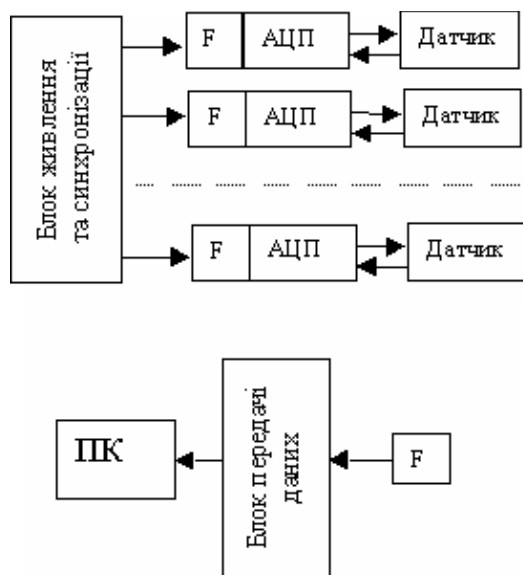


Рис. 1

Як видно з блок-схеми, реєстрація сигналів від датчиків розділена на дві фази: запис на флеш-пам'ять та передача даних з флеш-пам'яті в ПК. При більшому часі, який витрачається на весь процес введення даних в ПК, така структура має цілий ряд переваг:

- на порядок нижча вартість всього комплексу в порівнянні з комплексом прямого запису на ПК;
- можливість використовувати будь-які IBM – сумісні ПК без їх переобладнання;
- можливість використання необмеженої кількості датчиків;
- можливість роботи на об'єкті без ПК;
- при застосуванні синхронізуючого радіоімпульсу можлива відмова від кабельних з'єднань.

Для даного комплексу було розроблено та створено два типи датчиків: перший на оптико-цифровій, другий на тензометричній базі. Обидва датчика призначені для вимірювання загальних деформацій з точністю 0,01мм. У той же час, можливе використання будь-якого датчика з аналоговим вихідним сигналом, настройка блока АЦП на конкретний датчик відбувається автоматично. Блок АЦП має рідкокристалічний дисплей, який дає можливість контролювати величину сигналу від датчика та вільний об'єм пам'яті. Кожен модуль, який складається із датчика та АЦП, можна використовувати повністю автономно. Блок синхронізації дозволяє виконувати синхронний запис на всю кількість необхідних модулів «АЦП+датчик» та ставити помітки в часі. Загальний вид комплексу приладів показано на рис. 2.

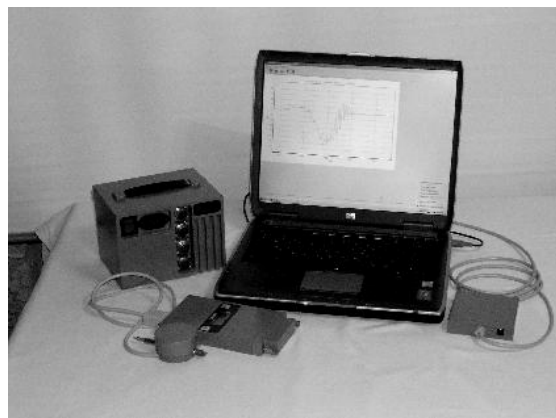


Рис. 2

Програмне забезпечення системи побудовано за модульно-ієрархічним принципом і має три рівні. На верхньому ступені ієрархії знаходиться програмний модуль, який забезпечує настройку конфігурації програмного середовища та виконує управління масивами даних. На наступному ступені знаходяться модулі, що здійснюють зв'язок з блоком зчитування та займаються перетворенням форматів даних. На нижньому ступені ієрархії знаходяться модулі обробки даних та їх графічної візуалізації. Інтерфейс програми виконано у вигляді загальноприйнятого «вікна» на інтерактивній основі.

Для прикладу коротко розглянемо результати випробування рухомим навантаженням шляхопроводу по пр. 40-річчя Жовтня в м. Києві. Шляхопровід має двоконсольну балкову прогінну будову з монолітного залізобетону з косиною 72°. Геометрична схема прогонової будови 6,06 + 15,54 + 6,06 (м). У поперечному перерізі прогінна будова має чотири поздовжні балки, які об'єднані між собою поперечними балками. За характерні точки були вибрані перерізи головних балок в середині прогону, при випробуваннях реєструвалися загальні деформації у вибраних точках. Навантаження (автомобілі КрАЗ масою по 21,0 т) рухалося по шля-

хопроводу зі швидкістю близько 40 км/год в інтервалах руху загального транспорту, які утворювалися внаслідок роботи світлофорів (5...10 с). Всього було виконано 8 заїздів автомобілів по різних полосах проїжджої частини. На рис. 3 показано віброграми динамічних прогинів головних балок, які були зареєстровані під час одного з заїздів.

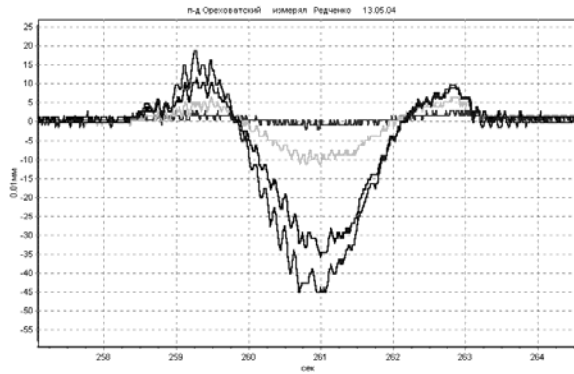


Рис. 3

Виділяючи квазістатичну складову для кожної віброграми, маємо можливість побудови поверхні впливу прогонів для кожної балки, а отже, знайти натурні значення інтегрованої статичної жорсткості прогінної будови та розподілу зусиль між балками (коефіцієнт поперечної установки). Крім цього, в даному випадку, додатково є можливість оцінити наявність та довжину перехідних плит.

Таким чином, наведена методика дозволяє виконувати визначення всіх тих параметрів прогінної будови, які традиційно визначаються на першому етапі статичних випробувань. При цьому одночасно можливе визначення динамічних характеристик конструкції.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лантух-Лященко А. І. Проблеми створення національної системи експлуатації мостів // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення: Зб. доп. Українського міжгалузевого науково-практичного семінару. – К., 1998. – С. 138–145.
2. Дудник Е. С. О техническом состоянии некоторых больших мостов // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення: Зб. доп. Українського міжгалузевого науково-практичного семінару. – К., 1998. – С. 50–53.
3. Лантух-Лященко А. І. Настанови з визначення технічного стану мостів / А. І. Лантух-Лященко, В. І. Кир'ян, П. М. Коваль та ін. – К.: Логос, 2002. – 117 с.
4. ВБН В.3.1-218-174-2002 Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються. – К.: Укравтодор, 2002. – 76 с.
5. ВСН 32-78 Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1979. – 142 с.
6. Лучко Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів та конструкцій / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. – Л.: Каменяр. – 2001. – 436 с.
7. Редченко В. П. Оцінка просторової роботи прогонової будови моста за результатами її випробування рухомих навантажень // Автомобільні дороги і транспортне будівництво: Збірн. наук. пр. – К.: НТУ, 2004. – Вип. 68. – С. 84–88.
8. Киселев В. А. Строительная механика. Специальный курс. – М., 1969. – 427 с.
9. Безухов Н. И. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах / Н. И. Безухов, О. В. Лужин, Н. В. Колкунов. – М.: Высш. шк. – 1987. – 262 с.

Надійшла до редколегії 25.05.04.

Т. А. СЕЛИХОВА (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ В ВИДЕ СЛОЯ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МКЭ

Наведено результати дослідження моделі основи у вигляді шару кінцевої товщини за допомогою метода скінченних елементів, а також авторські теоретичні та практичні рекомендації.

Представлены результаты исследования модели основания в виде слоя конечной толщины с помощью метода конечных элементов (МКЭ), а также авторские теоретические и практические рекомендации.

In the article the results of research of bases model as the layer of eventual thickness by the finite elements method has been represented, and also author theoretical and practical recommendations are resulted.

Одним из важных теоретических и практических вопросов исследования деформированного состояния основания под нагрузкой от фундамента является определение границ расчетной области или модели. Практическим аспектом такого определения является возможность упрощения решения задачи вследствие отбрасывания части грунтового массива, который не участвует в деформировании и, следовательно, его влиянием можно пренебречь. Теоретическим аспектом данного вопроса является адекватное отражение взаимодействия в системе «сооружение–основание», которое напрямую связано с выбором модели основания. Анализ моделей основания позволяет сделать вывод, что наиболее обоснованно к вопросу определения осадок подходят теоретические построения, относящиеся к модели упругого слоя конечной толщины [1; 2] и его расширенных модернизаций (упруго-пластический слой, упругоползучий [3; 4]), основанных на этих положениях. Ориентируясь на решение задачи определения (НДС) системы «сооружение–основание» МКЭ следует отметить, что модель упругого слоя или, точнее, слоя с некоторыми свойствами (далее – модель слоя), адекватно подходит для реализации практических алгоритмов метода. Модель основания в виде полупространства менее всего подходит для решения задачи о НДС МКЭ, так как область расчета нерационально увеличивается, что приводит к усложнению расчета но не дает ощутимых результатов в точности решения, а следовательно, негативно влияет на исследование системы.

Одним из отрицательных аспектов модели слоя с некоторыми свойствами является нали-

чие выбора расчетных характеристик расчетной области таким образом, чтобы выбранные размеры не влияли на результаты расчета. Модель слоя, реализованная МКЭ в виде объемной расчетной области с размерами $a \times b \times h$, где a , b , h – ширина, длина и толщина (мощность) расчетной области должны иметь такие их размеры, которые не влияли бы на перемещения и напряжения негативным образом, то есть не изменяли бы эти параметры. По аналогии с компрессионным прибором, в котором действительное напряженное состояние реализуется лишь в центре обоймы [5], а влияние ее стенок слишком велико на окрестные точки грунтового образца, так и в модели слоя МКЭ следует учесть возможное возникновение такой ситуации. Избежать ее можно путем увеличения размеров расчетной области. Следует отметить, что увеличение размеров области в плане $a \times b$ также связано с изменением размера h (толщина модели), что напрямую аналогично определению толщины слоя, описанное многими исследователями [2; 6; 7]. Но предложенные этими авторами способы определения толщины слоя как активной области сжатия (по Флорину [7]), суммирования осадок (по Егорову [6]) или затухания напряжений от фундамента (по СНиП [8]) несколько усложнены. Предложенный Флориным способ определения активной глубины, как глубины, при которой пренебрежение сжатия более глубоко расположенных слоев приводит к возникновению расчетной погрешности, недостаточно обоснован в силу произвольности некоторых применяющихся в нем величин:

$$h_{\text{ак}} = \sqrt{\frac{3 + \nu}{1 - \nu^2}} \cdot \frac{PA}{4\pi(1 + \varepsilon^*)} \cdot \frac{1 + 2\varepsilon}{1 - 2\nu_0} \cdot \frac{1}{\gamma \Delta S}, \quad (1)$$

где P – равнодействующая нагрузки; A – площадь действия силы; ν – коэффициент Пуассона, $\nu_0 = \nu$; ε – аппроксимация паспорта прочности грунта, в данном случае $\varepsilon = -A \cdot \ln \sigma + c$; $\varepsilon^* = 0,75$ (берется произвольно). В решенном примере [7], автор определяет глубину с заданной погрешностью 1 см в 302 м, что не может применяться для практических расчетов. Более реально применение способа суммирования осадок или предложенный в [1] способ определения активной глубины сжатия, как глубины, на которой напряжения от внешней нагрузки составляют 10...20 % от бытовых напряжений [8].

Переосмыслив способы определения толщины слоя в рамках МКЭ, автор предлагает практический способ ее определения путем итерационного процесса уменьшения расчетной области. Причем, помимо определения толщины слоя h , из-за использования пространственной постановки, следует определять размеры области в плане $a \times b$, так как их изменение также влияет на результаты расчета. Практически итерационный процесс сводится к подбору такой области, в которой удовлетворены следующие условия (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} -a \leq x \leq a, \quad \sigma_x = 0 \quad \sigma_x^y = \nu \gamma H \cdot \xi_\sigma \\ -b \leq y \leq b \quad \sigma_y = 0 \quad \sigma_y^y = \nu \gamma H \cdot \eta_\sigma \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$z \leq h \quad \sigma_z \leq 0 \quad \sigma_z^y = \gamma H \cdot \lambda_\sigma, \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} -a \leq x \leq a, \quad \varepsilon_x \leq \xi_\varepsilon \\ -b \leq y \leq b \quad \varepsilon_y \leq \eta_\varepsilon \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

$$z \leq h \quad \varepsilon_z \leq \lambda_\varepsilon, \quad (5)$$

где a, b, h – соответственно ширина, длина и высота расчетной области; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – компоненты напряженного состояния от внешней нагрузки на расчетную область; $\sigma_x^y, \sigma_y^y, \sigma_z^y$ – компоненты напряженного состояния от собственного веса; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – компоненты деформированного состояния от внешней нагрузки; x, y, z – переменная координата; $\xi_\sigma, \eta_\sigma, \lambda_\sigma, \xi_\varepsilon, \eta_\varepsilon, \lambda_\varepsilon$ – некоторые коэффициенты.

Представленные неравенства (2)–(3) показывают, что на границах области $a \times b$ и по ограниченной толщине h напряжения $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ от внешней нагрузки должны быть равны нулю, то есть распространение напряжения от нагрузки в основании не должно быть запрещено из-за размеров модели и на границах модели их влияние должно быть минимальным. Причем напря-

женное состояние на границах модели должно наиболее соответствовать компонентам бытового, то есть коэффициенты $\xi_\sigma, \eta_\sigma, \lambda_\sigma$ должны быть близки к единице.

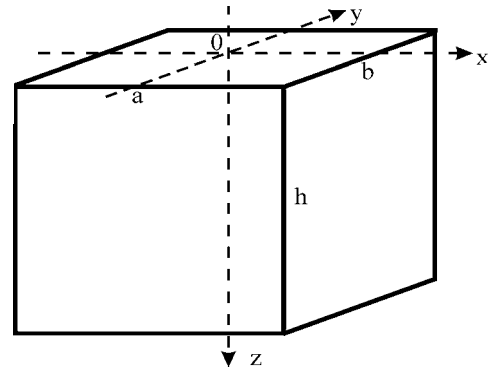


Рис. 1. Схема обозначений расчетной области

Неравенства (4)–(5) свидетельствуют о требуемом затухании перемещений $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ от нагрузки на границах модели, причем коэффициенты $\xi_\varepsilon, \eta_\varepsilon, \lambda_\varepsilon$ в идеальном случае равны нулю (но не в случае действия собственного веса), а в некотором приближении равны сотым частям миллиметра, что доказывает незначительное влияние изменения деформированного состояния на результаты расчета.

Проведен ряд численных расчетов для выяснения изменения НДС от размеров расчетной области. Для достаточного анализа и поиска зависимости изменения параметров напряжений и перемещений использованы три модели основания с вариацией расчетной области. Расчетные случаи обозначены следующим образом:

Серия № 1. Расчетная область $8 \times 8 \times 8$ м. Разбиение на конечные элементы $-0,5 \times 0,5 \times 0,5$ м. КЭ объемного типа, общее количество – 4096 штук, деформативные характеристики КЭ соответствуют супеси твердой со значением модуля упругости 21100 кН/м^3 и коэффициентом Пуассона, равным 0,3. В некоторых загрузениях участвовал собственный вес, равный 20 кН/м^3 .

Серия № 2. Расчетная область $10 \times 10 \times 10$ м. Во всех сериях разбиение на конечные элементы сохранялось, общее количество конечных элементов – 8000 штук.

Серия № 3. Расчетная область $12 \times 12 \times 12$ м. Общее количество конечных элементов – 13824 штуки. Все характеристики элементов для всех серий являются постоянными, что дает возможность говорить о неизменности параметров численного анализа, и полученные вариации результатов зависят лишь от размеров расчетной области.

Следует отметить, что расчет велся на разнообразный спектр загрузений, причем их зна-

чения во всех трех сериях были одинаковыми, что также свидетельствует о постоянных условиях численного анализа. Ниже приведен список загрузок (нелинейная постановка):

- 1 загрузка – центральная сила в центре расчетной области, равная 100 кН;
- 2 загрузка – центральная сила в центре расчетной области, равная 100 кН, с совместным действием собственного веса;

- 3 загрузка – распределенная сила в центре расчетной области, равная 10 кН/м, площадь действия 3×3 м;

- 4 загрузка – распределенная сила в центре расчетной области, равная 10 кН/м, площадь действия 3×3 м с совместным действием собственного веса;

На рис. 2–5 показаны результаты численного анализа трех серий.

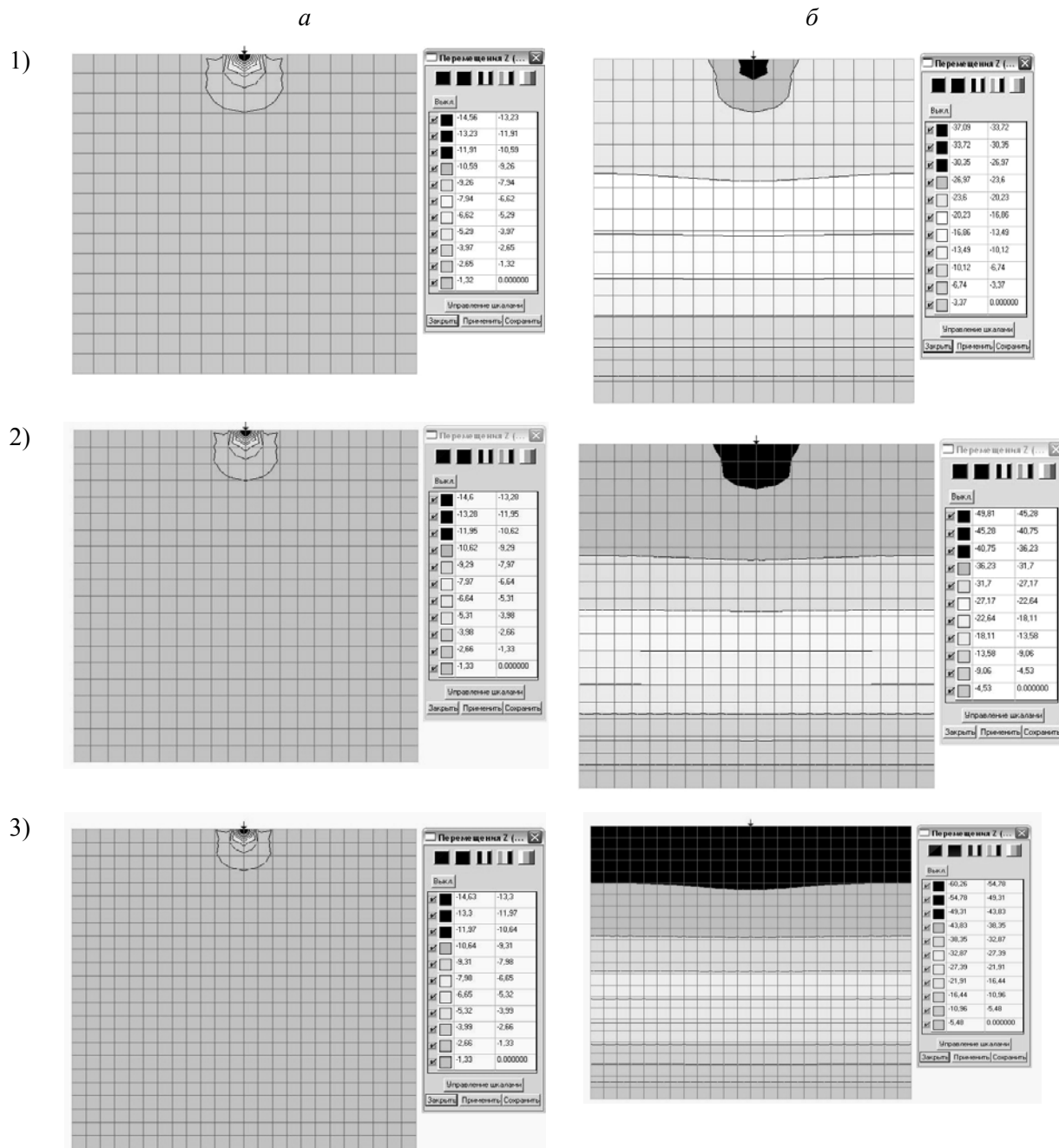


Рис. 2. Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси:
а) – (загрузка 1); б) – (загрузка 2); 1) серия № 1; 2) серия № 2; 3) серия № 3

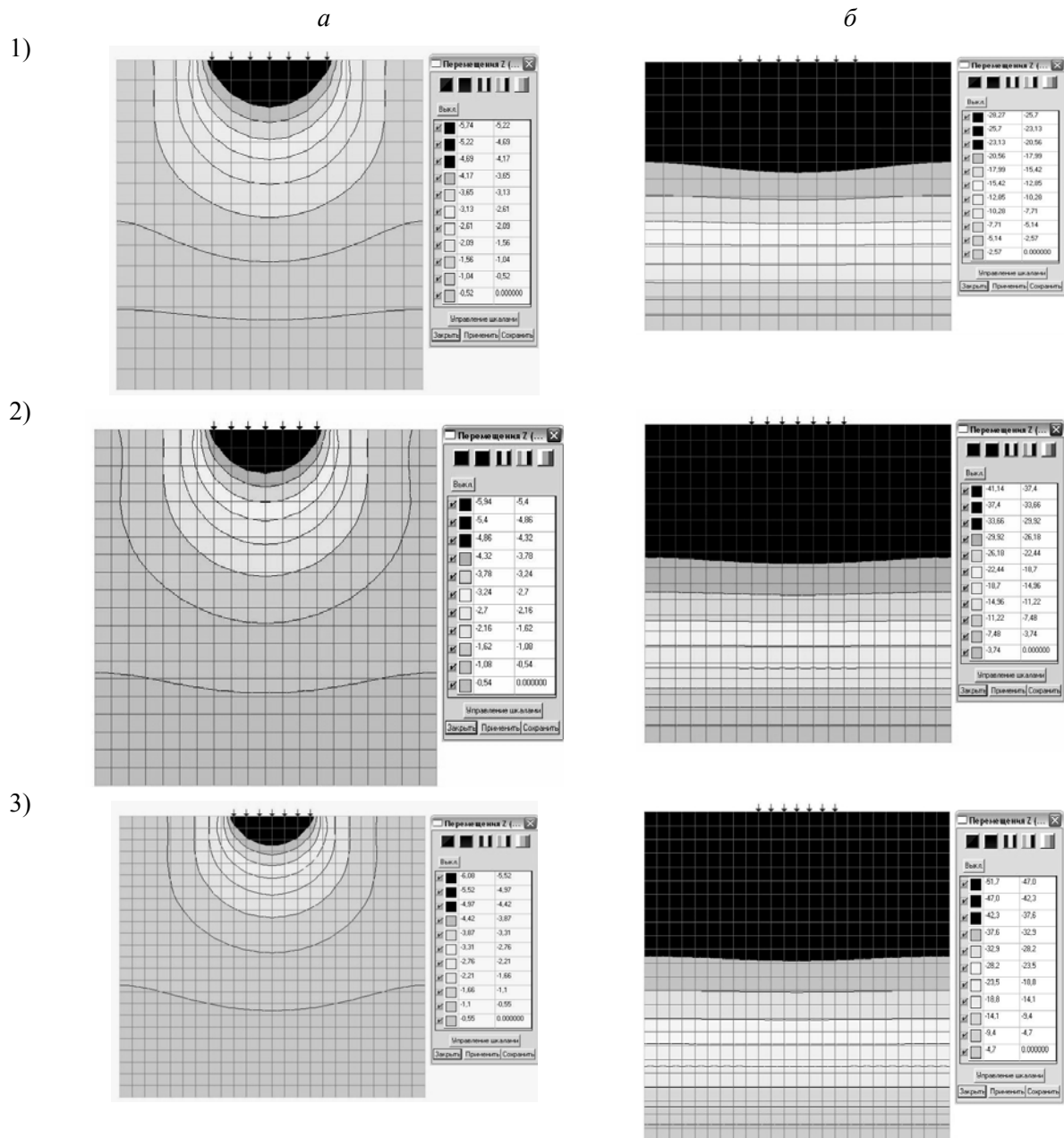


Рис. 3. Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси:
a) – (загружение 3); *б*) – (загружение 4); 1) серия № 1; 2) серия № 2; 3) серия № 3

Анализируя распределение вертикальных перемещений на рис. 2 и 3, можно сделать вывод, что увеличение расчетной области незначительно влияет на распределение перемещений (десятые доли процента), а значительное изменение перемещений связано с переходом от одного нагружения к другому. В данном показательном примере перемещения от силы со значением в 100 кН (данное значение взято лишь для показательности результатов без стремления к какому-либо конкретному случаю) сильно изменились по сравнению со случаем совместного действия силы и собственного веса (в шесть раз). Следует отме-

тить, что в случае совместного действия силы и собственного веса (см. рис. 2, *б*) изменение перемещений более показательнее, причем несколько изменился и характер изолиний и изополей данного параметра. Но эти изменения изополей сильнее проявляются в зоне действия силы, чем во всей расчетной области, что может быть объяснено значительным влиянием нелинейности постановки и, как следствие, влиянием пластических деформаций в зоне под силой. Следует также отметить, что в сериях № 2 и № 3 изменения перемещений не выходят за пределы 20 %, и зоны, в которых изменения этого параметра значи-

тельны, невелики по площади. Данные изменения могут также быть объяснены с позиции невысокой адекватности применяемой модели, которая, впрочем, применяется повсеместно, даже в некоторых классических задачах теории упругости. Речь идет о взаимодействии некоторого тела с сосредоточенной силой, например, в задаче Буссинеска, если принять Z в формуле равным нулю, тогда напряжения в этой точке равны бесконечности, что не отвечает физическим законам действительности. Но не следует забывать, что сосредоточенная сила – это значительная идеализация, и в дей-

ствительности нет сил, которые не имели бы площади действия. Это доказывают результаты анализа случая распределенной нагрузки (рис. 3, а, б), которые свидетельствуют о незначительном изменении перемещений в зависимости от размеров расчетной области (не более 30 % в сериях № 2 и 3). Но и это изменение захватывает незначительные площади, и там, где действие распределенной нагрузки становится незначительным, а главным фактором возникновения деформируемого состояния становится собственный вес (рис. 3, б) оно стремится к нулю.

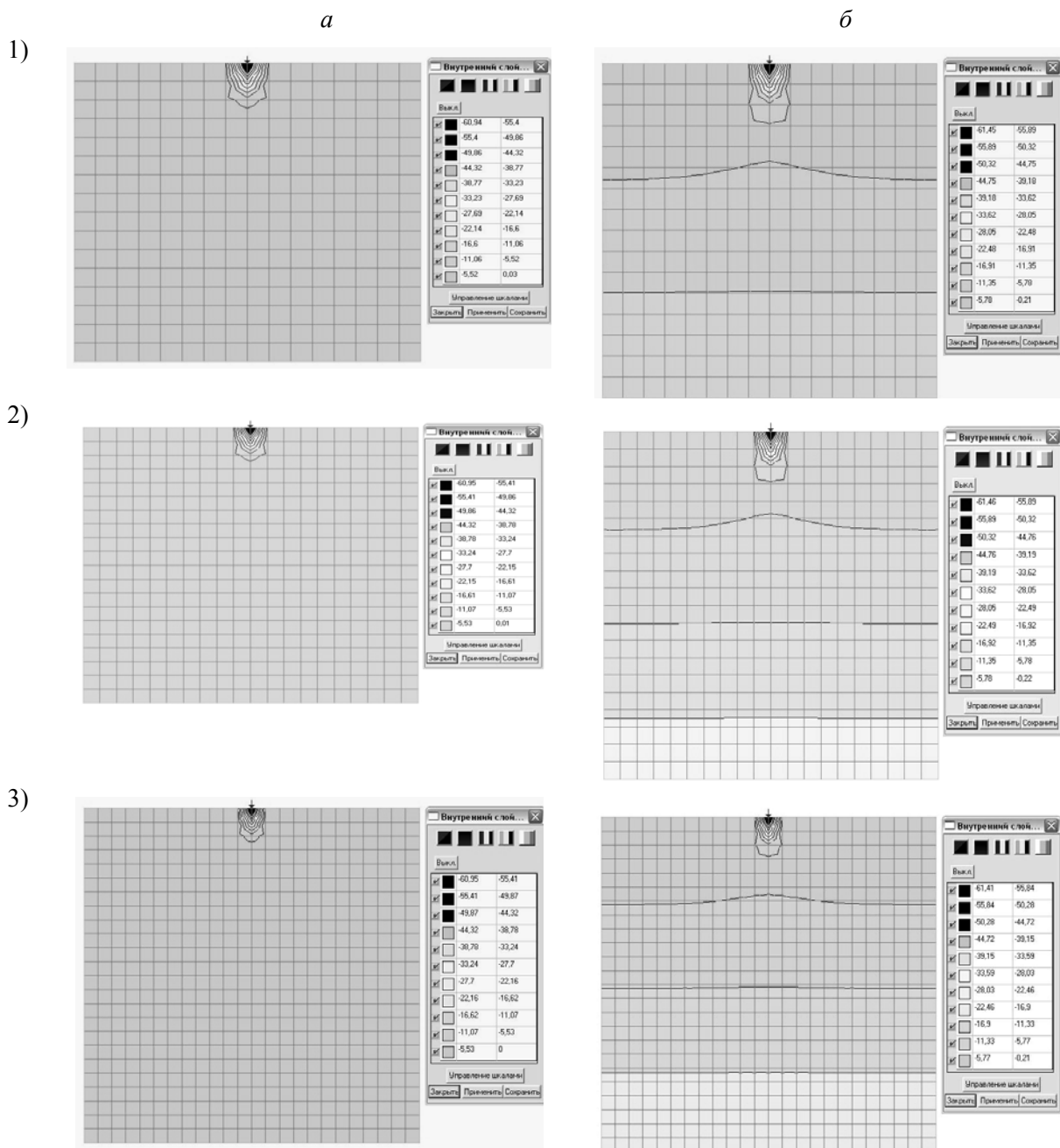


Рис. 4. Изолинии и изополя главных напряжений по вертикальной оси:
а) – (загружение 1); б) – (загружение 2); 1) серия № 1; 2) серия № 2; 3) серия № 3

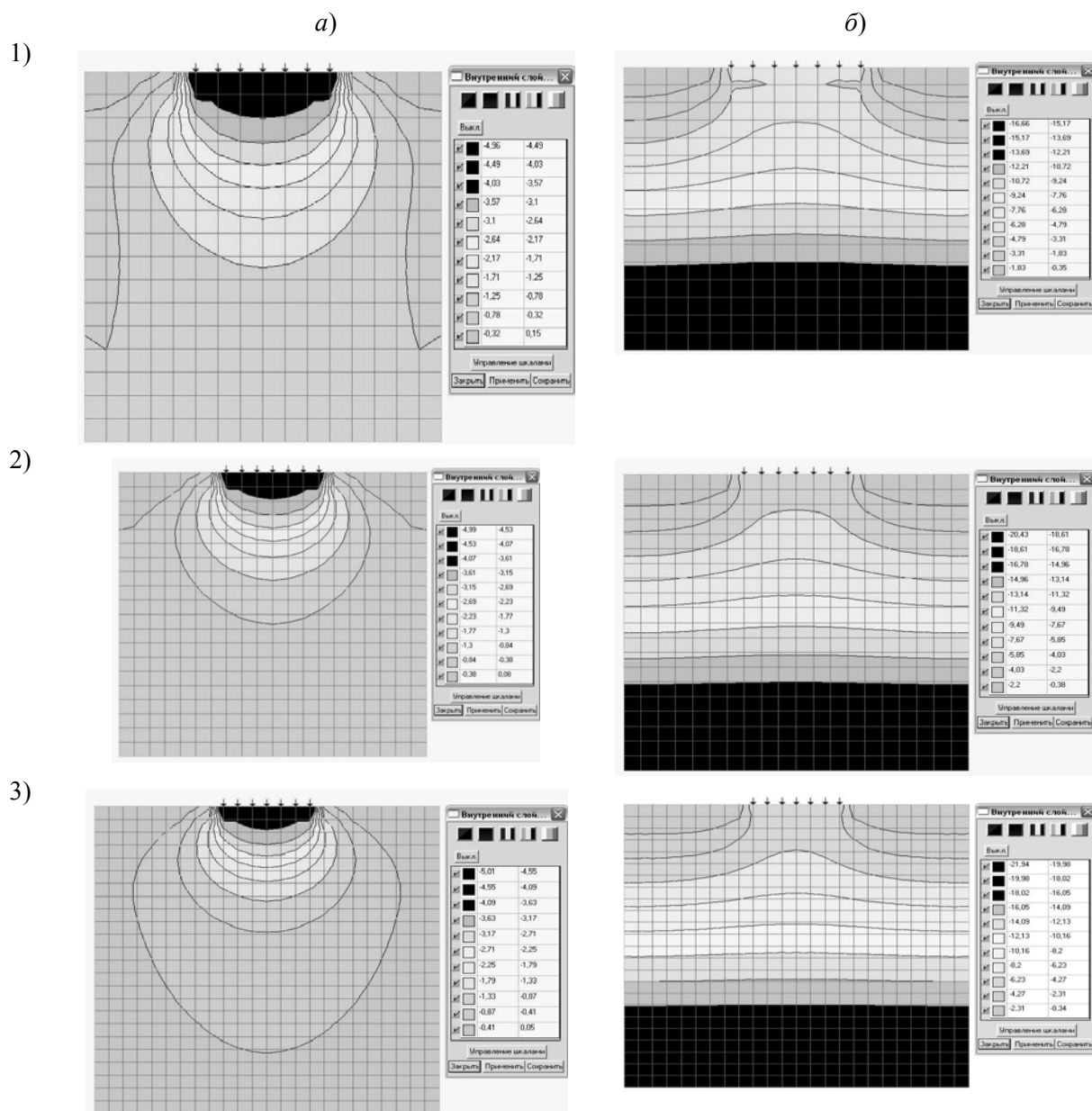


Рис. 5. Изолинии и изополя главных напряжений по вертикальной оси:
а) – (загружение 3); б) – (загружение 4); 1) серия № 1; 2) серия № 2; 3) серия № 3

Результаты, полученные с помощью расчетной области серии № 1 ($8 \times 8 \times 8$ м), действительно не слишком адекватны, так как относительные ошибки перемещений в сравнении с другими сериями значительны, что не соответствует уравнениям (2)–(5), но следует подчеркнуть, что эти ошибки достаточно велики в случае совместного действия внешней нагрузки и собственного веса. Относительные ошибки в двух других сериях не столь велики, что объясняется меньшим влиянием краевых эффектов. В случае напряжений данные ошибки еще меньше (рис. 4 а, б), причем вне зависимости от загрузки, что свидетельствует о более сильном влиянии на общее НДС собственного веса,

действие которого сглаживает действие силы, хотя пластическая составляющая напряжений от действия силы, конечно же, не уменьшается.

Результаты анализа напряжений (рис. 5) наиболее полно доказывают, что расчетная область серии № 1 в случае распределенной нагрузки, которая занимает до 40 % расчетной области (площадь действия распределенной нагрузки 3×3 метра), недостаточно адекватна для получения более точных результатов. Это доказывает характер изолиний (рис. 5 а, б), которые в серии № 1 незамкнуты, что противоречит физическому смыслу и объясняется недостаточным объемом расчетной области, который требуется для развития полной картины напря-

жений. Как видно из рисунка, серия № 2 также несколько не отвечает этому требованию, хотя последняя незамкнутая изолиния не вносит значительной погрешности в общую картину напряжений, так как имеет незначительную напряженность ($0,16-0,08 \text{ кН/м}^3$). В случае совместного действия распределенной нагрузки и собственного веса относительная погрешность серий № 2 и 3 составляет $5...7 \%$, что говорит об их равнозначности.

Особенным аспектом исследования модели конечного слоя при ее реализации с помощью МКЭ следует выделить определение толщины этого слоя, то есть одного из геометрических размеров расчетной области. Выше уже было показано, что определение этого параметра затруднено в силу несистематизированности положений его отыскания. Предложенные автором положения отыскания данного параметра с помощью уравнений (2)–(5), а точнее уравнения (5) носят скорее практический характер, то есть они отличаются некоторой эмпиричностью, которая, впрочем, обоснована в данном случае недостаточными знаниями об определении толщины расчетного слоя. Представленные выше результаты расчетов трех серий (рис. 2–5) могут служить иллюстрацией использования уравнения (5) при поиске данного параметра. Алгоритм поиска складывается из создания расчетных областей с конкретными вариантами загрузок и проверкой их с помощью уравнения (5). Те расчетные области, в которых данное условие не выполняется, отбрасываются. Расчетные области, в которых кроме условия (5), выполняются условия (2)–(4), а также которые возможно рассчитать на ПЭВМ, принимаются к расчету. Как видно из простого алгоритма поиска толщины конечного слоя его достаточно сложно привести к функциональному виду, то есть сложно найти систему, которая структурирует взаимодействие между толщиной конечного слоя и размерами расчетной области. Данный вопрос сложен и требует дополнительных исследований, которые достаточно сложно провести в рамках данной работы.

Следует также отметить некоторые особенности представленного алгоритма, а именно, поиск толщины слоя (высоты модели) следует вести на расчетной области без учета действия собственного веса. Это обусловлено тем, что собственный вес будет вносить в расчет значительную погрешность, так как его воздействие будет вызывать значительные перемещения, что доказывают результаты расчетов, представленные выше. Поиск толщины конечного слоя обусловлен поиском границ действия внешней нагрузки, что, кстати, не противоречит существующим нормам [8]. Помимо данного замечания следует также заметить, что влияние деформативных параметров основания в каждом конкретном случае значительно и в дальнейшем данный вопрос также предстоит разрабатывать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Далматов Б. И. Практический расчет осадки фундамента методом ограниченной сжимаемой толщи. – Л.: Изд-во ЛДНТП, 1965. – 32 с.
2. Шелест Л. А. Распределение напряжений и перемещений в основании конечной толщины под круглым жестким фундаментом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 6. – С. 26–28.
3. Уваров Б. В. Расчет балок на упругом основании с учетом ползучести и возможности отрыва балки от грунта // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. – № 4. – С. 24–26.
4. Клепиков С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. – К.: НИИСК, 1996. – 202 с.
5. Гольдштейн М. Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / М. Н. Гольдштейн, А. А. Царьков, И. И. Черкасов. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
6. Егоров К. Е. К вопросу деформации оснований конечной толщины // Труды НИИ оснований. – М.: Госстройиздат, 1958. – № 34. – С. 5–33.
7. Флорин В. А. Основы механики грунтов, т. 1. – Л.–М.: Госстройиздат, 1961. – 357 с.
8. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1995. – 26 с.

Поступила в редколлегию 01.11.2004.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВИСЯЧИХ МОСТОВ

Розглядається застосування методики проектування мостових конструкцій взагалі та висячих зокрема так званим «методом зворотного ходу» коли основним (вихідним) параметром конструкції, що проектується, є період вільних коливань (частота).

Рассматривается применение методики проектирования мостовых конструкций в общем и висячих в частности так называемым «методом обратного хода», когда основным (исходным) параметром конструкции, которая проектируется, является период собственных колебаний (частота).

The work considers application of a method of designing the bridge structures (general and «hanging» ones), in particular by the so called «method of reverse movement», when by the basic (initial) parameter of the construction to be designed is the period of its own vibrations (the frequency).

Вопрос о все повышающейся роли определения собственных частот колебаний, подтвержденный аргументацией, приведенной в многочисленных публикациях [8] и др. и отраженной автором в работах [1; 3; 5; 6] и др. в данной статье рассматривается с позиции внедрения в практику проектирования висячих мостов, как наиболее уязвимых к воздействию динамических нагрузок, методики, в основу которой положена частота собственных колебаний. Аргументация положительных сторон такого подхода подтверждена следующими доводами.

1. Еще в 20-е годы И. М. Рабинович в своей статье [8] отметил четкую связь частоты собственных колебаний металлических пролетных строений с их состоянием и несущей способностью и указал на частоту собственных колебаний пролетного строения как основную всеобъемлющую его характеристику.

2. Строительные нормы и правила [7, п. 148] ограничивают периоды (частоты) собственных колебаний всех типов пешеходных и городских мостов (и тем более висячих), довольно узким диапазоном.

3. В современной практике проектирования мостов одним из подлежащих специальному анализу критериев динамических характеристик систем являются частоты и формы их собственных колебаний. В частности, в последнее время при проектировании мостов в странах Западной Европы нормативное динамическое воздействие на пролетное строение поставлено в зависимость не только от схемы и материала сооружения, но и от таких параметров как скорость движения нагрузки и частота собственных колебаний.

4. Надежное и доступное проектировщикам определение частот собственных колебаний

мостовых конструкций позволяет оценивать фактическую «связанность» систем «мост–подвижная нагрузка» и на этой основе устанавливать обоснованные для инженерных решений расчетные схемы и математические модели весьма сложных процессов динамического взаимодействия.

5. Специалисты Международного союза железных дорог (UIC) на базе специальных комплексных исследований динамических процессов при движении нагрузок по искусственным сооружениям предлагают даже исключать из рассмотрения при проектировании ряд сложных вопросов в том случае, если периоды собственных колебаний сооружений не выходят за пределы, установленные специальными нормами.

6. Наконец исследование выносливости отдельных частей мостов при многочастотных нагружениях немыслимо без точного определения собственных динамических характеристик.

Если для балочных разрезных мостов совпадение частот собственных колебаний конструкции с частотами подвижных нагрузок мало отражаются на их работе, то для балочных неразрезных, вантовых, висячих мостов нерекommenованный диапазон частот (периодов) должен быть строго выдержан, поскольку в противном случае создается реальная предпосылка возникновения резонансных явлений, при которых последствия могут оказаться самыми неожиданными.

Данные теоретических и экспериментальных исследований вертикальных и горизонтальных колебаний мостов различных систем, отраженные в работах [3; 5; 6; 9] и др. показывают, что для большинства рассмотренных типов мостов при исследовании вертикальных и горизонтальных колебаний, возможно использование единых

типовых расчетных моделей, которые и рекомендуются к практическому применению. Пригодность предлагаемых моделей проверена на примерах расчетов многочисленных реальных объектов сравнением с расчетами другими методами и в большинстве случаев с данными натурных экспериментов [4–6; 9], и др.

Предлагаемый подход к проектированию предполагает в качестве основного и исходного параметра будущего мостового сооружения собственную частоту (период) вертикальных и горизонтальных колебаний. Применение указанного подхода было бы в какой-то степени менее эффективно без предлагаемых готовых к использованию уравнений и построенных по результатам их решений графиков, таблиц, номограмм [3; 9].

Преимущества графиков и таблиц особенно очевидны на этапе предварительного проектирования ибо дают возможность проектировщику оперативно находить оптимальное соотношение между прочностью, жесткостью и собственной частотой будущего сооружения.

Наличие современной вычислительной техники и программ, в основу которых положен метод конечных элементов (МКЭ), позволяет определить собственные частоты для любой мостовой конструкции. Предлагаемый подход не исключает такие расчеты, но только на завершающей стадии, да и то только для сложных конструкций. Как было показано в [1; 9] и будет показано ниже, в подавляющем большинстве случаев в этом нет необходимости.

Учитывая, что приводимые в работах автора частотные уравнения в сочетании с графиками, номограммами и таблицами позволяют получать решения для основного частотного параметра λ_i (λ_i^2 или $\lambda_i^2/2\pi$) для расчетных моделей в виде балки на двух шарнирных опорах (балочные разрезные мосты), регулярных многопролетных балок на жестких и упругих промежуточных опорах (неразрезные балочные мосты, вантовые, висячие, система «бегущая лань», система гибкая арка с балкой жесткости, эстакады монорельсовых дорог, пролеты с вертикально-подъемной проезжей частью, балки проезжей части железнодорожных мостов, высокие виадуки), балка на сплошном упругом основании (как первое приближение для большинства рассмотренных типов мостов, высоких виадуков, временных мостов, висячих), шарнирная цепь (при исследовании горизонтальных колебаний балочных виадуков, временных мостов, вертикальных и горизонтальных колебаний наплавных мостов) и др., запишем общую фор-

мулу для определения линейной собственной частоты и периода для висячего моста [3]

$$\omega_i = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{EI}{\mu d^4} + \frac{H}{\lambda_i^2 \mu d^2}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega_i}, \quad (1)$$

где E, I, μ – модуль упругости, момент инерции и погонная масса балки жесткости; H – распор, кН; d – длина панели (расстояние между смежными точками опирания для регулярной многопролетной системы), м; λ_i – частотный параметр, определяемый путем решения частотного уравнения (2), по графику-номограмме или по соответствующим таблицам [3; 6]

$$\frac{sh\lambda_i}{ch\lambda_i - \cos\beta_i} - \frac{\sin\lambda_i}{\cos\lambda_i - \cos\beta_i} = \frac{2\lambda_i^3}{c'}. \quad (2)$$

В формулу (1), в нее входят практически все основные линейные, жесткостные и весовые характеристики будущего сооружения и при их наличии определить собственную частоту для запроектированной конструкции, используя зависимости (1), (2), не представляет трудностей. В обычной практике проектирования так и поступают: подбираются линейные и жесткостные характеристики будущего сооружения, а частота или период собственных колебаний рассчитывается в конце для уже запроектированной конструкции. При периоде, находящемся в nereкомендованном диапазоне, необходимы изменения практически всех параметров сооружения, что в некоторых случаях равносильно повторному расчету, который в свою очередь так же не гарантирует успех.

Предлагаемый подход позволяет исключить необходимость повторных расчетов, поскольку проектирование начинается как бы с конца. Ведь по сути, еще даже не приступая к проектированию и не зная ничего о будущем сооружении, проектировщик тем не менее уже знает в соответствии с [7, п. 148] период собственных колебаний будущего сооружения (вернее тот диапазон, в котором не должен находиться период собственных колебаний). Учитывая известную зависимость между периодом и частотой, мы, таким образом, знаем левую часть (конкретное число) формулы (1). Как было показано в работе [1], для простейших расчетных моделей: разрезные балочные мосты, неразрезные балочные мосты с равными пролетами этого оказывается достаточно, чтобы далее целенаправленно и последовательно задаваться линейными, жесткостными и весовыми парамет-

рами сооружения и в итоге запроектировать конструкцию, которая отвечает требованиям прочности, жесткости и главное одновременно соответствующему ограничению по периоду собственных колебаний.

Для более сложных мостовых конструкций (в том числе и висячих мостов), расчетными схемами которых служит целый набор моделей в виде многопролетной балки с промежуточными упругими или жесткими опорами, шарнирной цепи, балки на сплошном упругом основании и др., указанный подход использовать напрямую невозможно, поскольку в параметр относительной жесткости упругих опор c' , по которому, используя графики и номограммы, можно определить основной частотный параметр λ_i , входят практически все параметры и характеристики будущего сооружения. Однако, учитывая некоторые особенности динамической модели висячего моста в виде многопролетной неразрезной балки на упругих опорах [6] и упрощая ее на этапе предварительного расчета до балки на сплошном упругом основании, можно получить решение исключаящее из предварительного рассмотрения большинство параметров сооружения как имеющие второстепенное влияние на частоту собственных колебаний.

Прежде всего необходимо отметить, что в расчетах мостовых конструкций, приводимых к расчетной схеме в виде многопролетной балки на жестких или упругих опорах, балки на сплошном упругом основании, фигурирует не общая длина рассматриваемого пролетного строения, а расстояние между смежными точками опирания или подвешивания (опорами, подвесками, вантами). В частотных уравнениях и формулах присутствует параметр n – количество панелей висячего моста, который, как будет показано ниже, является одной из самых значимых его характеристик, поскольку определяет длину панели, входящую во все зависимости используемые при динамическом расчете. Таким образом, при известной общей длине пролета $L = nd_0$ мы стоим перед проблемой решения уравнения с двумя взаимосвязанными неизвестными, которое имеет неограниченное количество решений. Следовательно, надо попытаться записать еще одно уравнение, которое бы связывало данные параметры.

В соответствии с [7] период собственных вертикальных колебаний пешеходных и городских мостов (к которым относим и висячие) по двум низшим формам не должен находиться в диапазоне $T \neq 0,45 \dots 0,60$ с.

Учитывая, что в частотных уравнениях, как правило, фигурирует не период, а круговая частота, запишем данное ограничение в виде круговой частоты $\omega \neq 13,96 \dots 10,47$ Гц.

Висячие мосты относятся к одному из самых сложных для проектирования типов мостов и расчет их собственных частот (особенно по первой форме) сам по себе является задачей нелегкой.

Запишем уравнение собственных колебаний балки на сплошном упругом основании, которая в данном случае моделирует (в каком-то приближении) висячий мост (хотя более точной моделью является многопролетная неразрезная регулярная балка на упругих опорах [3; 9]).

$$2c' - \lambda_i^4 + \beta_i^4 = 0. \quad (3)$$

Подставив в указанную формулу (3) общеизвестные и известные по работам [3; 6; 9] зависимости:

$$c' = \frac{c_0 d_0^3}{2EI_0}; \quad c_0 = \frac{ql}{2f_0} = \frac{qnd_0}{2f_0};$$

$$\lambda_i^4 = \frac{\mu \omega_i^2 d_0^4}{EI_0}; \quad \beta_i^4 = \frac{\pi^4}{n^4} \cdot i^4; \quad \mu = \frac{q}{g}$$

представим ее в таком развернутом виде

$$\frac{qnd_0^4}{2f_0 EI_0} - \frac{q\omega_i^2 d_0^4}{gEI_0} + \frac{\pi^4}{n^4} \cdot i^4 = 0, \quad (4)$$

где c_0 – жесткость упругой опоры, кН/м; n – количество панелей висячего моста; i – порядковый номер формы колебаний; f_0 – стрела провисания кабеля, м; d_0 – длина панели, м; q – интенсивность постоянной нагрузки, кН/м.

Анализ численных значений всех членов указанного равенства для шести реальных висячих мостов показывает, что третий член уравнения при числе панелей висячего моста 16...40 (длина пролета моста 80...853 м) составляет 3...8 % от первого и второго при первой форме колебаний. Поскольку первый и второй члены формулы (4) не представляют в свою очередь разность близких чисел, сравнимую с третьим членом, пренебрегая третьим членом на данном этапе расчета, выражение (4) упрощается до следующего

$$\frac{n}{2f_0} = \frac{\omega_i^2}{g}. \quad (5)$$

Из выражения (5) получаем довольно простую приближенную зависимость для квадрата круговой частоты в зависимости только от двух линейных параметров будущего сооружения и связь стрелы провисания кабеля с длиной панели (при заданной длине моста и собственной частоте вне указанного диапазона)

$$\omega_1^2 = \frac{gn}{2f_0}; \quad (6)$$

$$f_0 = \frac{Lg}{2d_0\omega_1^2}; \quad (7)$$

$$\frac{Lg}{2\omega_1^2} = f_0 d_0. \quad (8)$$

Зависимость (6) с точки зрения ее корректности (поскольку нами сделано ряд упрощений) была проанализирована на примере четырех висячих мостов, рассмотренных подробно в [3; 6; 9], и по которым имеются экспериментальные данные. Данные расчета по зависимости (6) в табл. 1 сравниваются с экспериментальными данными и с расчетами другими методами.

Таблица 1

Сравнение частот

Частота по приближенной зависимости (5), Гц	Частота из эксперимента или расчетная, Гц	Погрешность %
5,47	7,02	22,00
1,90	2,11	10,40
1,37	1,40	2,15
1,18	1,15	2,90

Как видно из результатов сравнения, для предварительных расчетов такая точность вполне допустима, если к тому же учесть, что первый объект не может быть в этом плане показательным, поскольку запроектирован не проектной организацией и имеет параметры в большинстве своем не идеальные (например, при длине моста 80 м он имеет сорок панелей). Указанную формулу принимаем в качестве приближенной для дальнейшего использования.

В своей работе, посвященной теории висячих систем [10], В. К. Качурин неоднократно подчеркивает, что при расчетах «...в отдельных случаях приходится действовать почти наудачу», «...надо, как видно, задаться двумя, связанными друг с другом величинами: f_0 и H . Это самая трудная часть задачи... Следова-

тельно, основная задача заключается в том, чтобы удачно задаться стрелой f_0 ». Рекомендуемый в многочисленных публикациях диапазон варьирования отношением стрелы провисания кабеля к длине пролета довольно велик и ориентировочно его можно отнести соответственно к пролетам от 100 до 1000 м:

$$\frac{f_0}{L} = \frac{1}{5} \dots \frac{1}{7} \text{ [10]}; \quad \frac{1}{8} \dots \frac{1}{10} \text{ [11]}; \quad \frac{1}{12}$$

(старый Токомский мост).

Лучшим вариантом, однако, является обоснование выбора стрелы провисания в зависимости от параметров, которые являются исходными при проектировании. В какой-то степени это удалось сделать зависимостью (8).

Для частоты по второй форме колебаний ($i = 2$) используем то обстоятельство, что при этом распор в висячей конструкции не реализуется и $c' = 0$, что дает нам простое решение в соответствии с (2) или (3) $\lambda_2 = \beta_2$.

Данные зависимости показывают, что проектирование висячего моста с заданной длиной L необходимо начинать, задавшись круговой частотой вне указанного диапазона (13,96...10,47 Гц), после чего вновь задаемся отношением количества панелей к стреле провисания кабеля вне указанного (9) диапазона, но в котором при этом уже учтено ограничение по частоте

$$22,34 > \frac{n}{f_0} = \frac{L}{f_0 d_0} > 39,73. \quad (9)$$

В реальном проектировании вероятность попадания данного отношения в указанный диапазон (9) практически исключена, что в свою очередь исключает вероятность возникновения резонансных явлений при колебаниях по первой форме. Но диапазон возможных отношений довольно велик и желательно найти другую зависимость для стрелы провисания или количества панелей (длины панели).

Поскольку вероятность резонансных явлений может иметь место при колебаниях по второй форме, обращаясь к формуле (1), можно записать другое отношение (при известных, как правило, к началу проектирования основных исходных данных: длине пролета L и модуле упругости материала балки жесткости E) для диапазона указанной круговой частоты при $i = 2$:

$$78,7 > \frac{qL^4}{EI} > 138,9, \quad (10)$$

которое ограничивает отношение момента инерции балки жесткости к интенсивности погонной нагрузки. Задавшись данным отноше-

нием при заданной ранее круговой частоте, можно определить частотный параметр λ_i и относительную жесткость опоры c' :

$$c' = \frac{1}{4n^3 f_0} \cdot \frac{qL^4}{EI}, \quad (11)$$

$$\lambda_i^4 = \frac{\omega^2}{gn^4} \cdot \frac{qL^4}{EI}. \quad (12)$$

После чего, при найденном значении c' , по уравнению (2) находим λ_2 и сравниваем с (12), производя при необходимости корректировку отдельных параметров.

Пренебрегая членом β_i^4 в уравнении (4), мы получили простую зависимость между относительной жесткостью упругих промежуточных опор c' и частотным параметром λ_i

$$2c' = \lambda_1^4. \quad (13)$$

Проверка возможности использования в дальнейших разработках указанной приближенной зависимости (что заодно даст нам основание с большим доверием подойти к приближенной формуле для собственной частоты висячего моста) выполнена на нескольких примерах. В табл. 2 приведены данные, заимствованные из [3], показывающие погрешность (отличие) указанных параметров для различных типов висячих мостов, мостов системы гибкая арка с балкой жесткости и висячих трубопроводных переходов. Указанная погрешность практически отображает погрешности приближенной формулы для круговой частоты (см. табл. 1). Все шесть объектов реально существующие мосты, из них три первые – висячие мосты, два следующих – мосты системы гибкая арка с балкой жесткости и последний – висячий трубопровод.

Таблица 2

Сравнение параметров

Объект	Сравниваемые параметры			Погрешность в %
	λ_i	$\lambda_i^4 \cdot 10^4$	$2c' \cdot 10^4$	
1	0,12153	2,180	1,508	+30,70
2	0,30163	82,700	68,840	+17,30
3	0,26991	53,000	51,200	+3,40
4	0,32116	106,400	111,200	-4,50
5	0,35884	165,800	156,600	+5,50
6	0,66894	2002	2008	-0,30

За исключением вновь только первого объекта, с указанной погрешностью, на данном этапе предварительного расчета, можно мириться, а следовательно, можно использовать указанную зависимость (13). Заменим в формуле (1) λ_1^2 на $\sqrt{2c'}$ и перепишем ее в таком виде:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{gn}{2f_0} \left(1 + \frac{n}{4}\right) \sqrt{\frac{qnd^4}{2f_0 EI}}}. \quad (14)$$

Формула (14) дает уточнение для частоты по сравнению с приближенной формулой (6) порядка 7...10 %.

Более точный результат по частоте можно получить, если частотный параметр λ_i определить из частотного уравнения (2), которое использовано нами [3] как основное для определения собственных частот висячих мостов и соответствует модели в виде многопролетной

неразрезной регулярной балки на промежуточных упругих опорах, и полученное значение подставить в формулу (1).

Проанализируем данный подход на примере одного реального висячего моста (Токомский старый). Мост имеет следующие характеристики:

- длина пролета моста $L = 853,44$ м;
- длина панели $d_0 = 31,61$;
- количество панелей $n = 27$;
- стрела провисания кабеля $f_0 = 70,60$;
- интенсивность постоянной нагрузки $q = 42,4$ кН/м;
- площадь сечения кабеля $F_k = 12,32$ см²;
- момент инерции балки жесткости $I_6 = 7,65$ м⁴;
- круговая частота, Гц, $\omega_1 = 1,40$, $\omega_2 = 1,05$.

Схематично расчет должен вестись следующим образом.

1. Задаемся значением круговой частоты вне диапазона 10,47...13,96 Гц ($\omega_1 = 1,40$ Гц).

2. По формуле (8) при известной длине пролета L находим произведение длины панели и стрелы провисания кабеля, м²,

$$f_0 d_0 = \frac{Lg}{2\omega_1^2} = 2135,8 \text{ (2231,7)}.$$

3. Задаемся одним из параметров: длиной панели d_0 или числом панелей n , или стрелой провисания f_0 и находим два других. Примем длину панели $d_0 = 31,6$ м.

Тогда

$$n = \frac{L}{d_0} = \frac{853,44}{31,6} = 27(27)$$

и

$$f_0 = \frac{2135,8}{31,6} = 67,59 \text{ (70,6)}.$$

4. С учетом зависимостей (11) и (12) правая часть уравнения (2) может быть преобразована без потери точности с исключением из него параметра относительной жесткости c'

$$\begin{aligned} \frac{2\lambda_i^3}{c'} &= \frac{2q\omega_i^2 d_0^4 \cdot 2f_0 \cdot 2EI}{gEI \cdot qnd_0 \cdot d_0^3 \cdot \lambda_i} = \\ &= \frac{8\omega_i^2 f_0}{gn\lambda_i} = \frac{4,001}{\lambda_i}. \end{aligned} \quad (15)$$

Тот же результат получаем, если используем приближенное равенство (13).

Решив уравнение (2) с учетом (13) или (15), находим $\lambda_1 = 0,24011$, что дает нам возможность определить важное отношение связывающее момент инерции балки жесткости с интенсивностью постоянной нагрузки.

Рядом с расчетными в скобках приведены значения принятые при проектировании

$$\frac{I}{q} = \frac{d_0^4}{E\lambda_1^2} \left(\frac{\omega_1^2}{\lambda_1^2 g} - \frac{n^2}{8f_0} \right) = 1,709 \text{ (1,804)}. \quad (16)$$

В скобках даны значения, которые имеет реальная конструкция.

Как видно, все реально принятые параметры моста, и полученные нами по предлагаемому зависимостям, практически совпадают, что в свою очередь дает нам основание рекомендовать данный подход к использованию в практике проектирования.

Предлагаемый подход позволяет реально проектировать динамически защищенные мостовые и строительные конструкции, что реально позволит значительно ослабить усилия, направляемые на гашение колебаний неудачно запроектированных (с точки зрения динамики) конструкций.

Простейшая приближенная формула для частоты (периода) собственных колебаний позволит проектировщику оперировать ей также свободно, как и общеизвестными формулами при статическом расчете.

На рисунке приведен график – номограмма для определения частотного параметра λ_i^2 по известному значению относительной жесткости промежуточных упругих опор c' .

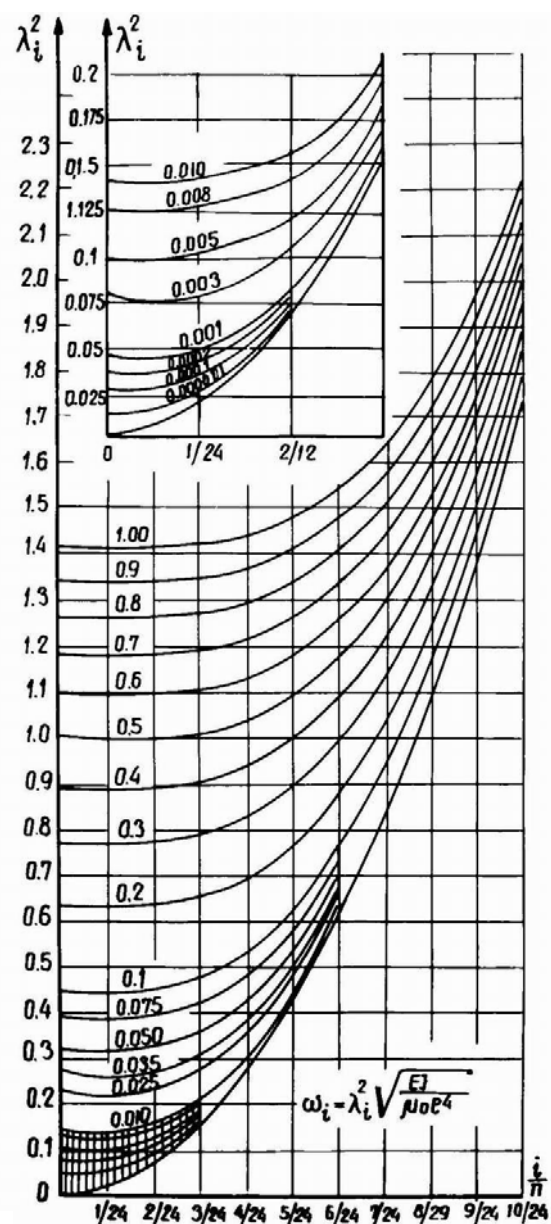


Рис. График-номограмма

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солдатов К. И. Некоторые вопросы определения собственных частот колебаний мостов применительно к проектированию. // Вопросы статики и динамики мостов: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1987. – С. 94–103.
2. Солдатов К. И., Казакевич М. И. Определение собственных частот колебаний однопролетных внешне распорных радиально-вантовых систем. // Межотраслевые вопросы строительства: Реферат. сб. – Вып. 8. – М., 1970.
3. Солдатов К. И. Свободные колебания регулярных балок и некоторых мостовых конструкций на упругих опорах. Дис. ... канд. техн. наук. – Д., 1971. – 220 с.
4. Солдатов К. И. Результаты испытаний пешеходного висячего моста / К. И. Солдатов, В. И. Мадатов, А. И. Лысков // Транспортное строительство. – М., 1975. – № 12. – С. 5–6.
5. Солдатов К. И. Об одном подходе к определению параметров свободных вертикальных колебаний пролетных строений со сквозными фермами / К. И. Солдатов, А. С. Распопов // Вопросы статической и динамической работы мостов: Межв. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1989. – С. 54–66.
6. Солдатов К. И. К вопросу о собственных частотах колебаний мостовых конструкций на упругих опорах. // Вопросы статики и динамики мостов: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1972. – Вып. 116. – С. 97–112.
7. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы. – М., 1985.
8. Рабинович И. М. Некоторые соображения о связи между состоянием металлических пролетных строений и их свободными колебаниями, Труды НТК, 11 сб. отдела инженерных исследований. – М., 1927.
9. Солдатов К. И. Регулярные упругие модели задач динамики и устойчивости мостовых конструкций. Дисс. ... д-р техн. наук в форме науч. доклада. – Д., 1993.
10. Качурин В. К. Теория висячих систем (статический расчет). – Л.–М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву, архит. и строит. материалам, 1962. – С. 223.
11. Рокар И. Неустойчивость в механике / Пер. с франц. – М.: Изд-во иностр. литературы, 1959. – 287 с.

Поступила в редколлегию 21.06.04.

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВИСЯЧИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Розглянуто питання визначення власних частот вісячих трубопровідних переходів з використанням розрахункової моделі у вигляді багатопрогінної регулярної балки (труба) на пружних опорах (підвіски разом з кабелем). Приклад розрахунку дано у порівнянні з розрахунками іншими методами.

Рассмотрен вопрос определения собственных частот висячих трубопроводных переходов с использованием расчетной модели в виде многопролетной регулярной балки (труба) на упругих опорах (подвески вместе с кабелем). Пример расчета дан в сравнении с расчетами другими методами.

The article is devoted to the question of defining own frequencies of trailing pipeline passages with the use of calculation model as a multi-span regular beam (pipe) on elastic supports (suspension brackets together with a cable). The example of calculation is given in comparison with calculations by other methods.

Интенсивное развитие нефтяной и газовой промышленности, разработка проектов транспортировки угля газом, горячей воды от ГЭС к потребителям и т. д. требует значительных капитальных вложений в строительство трубопроводного транспорта. Чаще всего для надземной прокладки трубопроводов в горных районах, через реки, овраги, ущелья, болота, дороги и др., с экономической и экологической точки зрения, целесообразным считается применение висячих систем различных видов [1–3; 9] и др.

Статический расчет таких систем разработан довольно хорошо, о чем свидетельствует обширная библиография по данному вопросу, приведенная в работах [1; 12–14]. Разработки динамического расчета с надежным аппаратом определения частот и форм собственных вертикальных и горизонтальных колебаний практически отсутствуют. Попытки проектировщиков перенести без каких-либо изменений решения, полученные для висячих мостов, на данные конструкции приводят зачастую к значительным погрешностям (в 2–3 раза) по частоте (особенно первой формы колебаний) в силу некорректности расчетных схем (особенно горизонтальных колебаний) или не учета отдельных важных факторов.

Небольшая жесткость и погонная масса балки жесткости (трубы) при значительных линейных размерах (длина пролета, длина панели, стрела провисания кабеля и т. д.) резко изменяют известные соотношения между параметрами при определении собственных частот колебаний.

Кроме того ошибки в определении собственных частот естественно порождают неточности в статическом расчете. Проблема заклю-

чается в том, что данные неточности статического расчета остаются не замеченными, поскольку проверкой правильности динамического расчета в большинстве случаев может служить только эксперимент на натурном объекте, т. е. только как констатация факта.

Именно указанные неточности динамического расчета породили целый раздел динамики – гашение колебаний различного рода конструкций, в том числе и мостовых. Необходимость в таких действиях могла бы отпасть, если при проектировании возможно было бы строго выполнить ограничения по периодам собственных колебаний, заложенные в нормативных документах [15] и др.

В приложении к работе [1] приведены схемы около сорока построенных и проектируемых трубопроводных переходов висячего типа. Рассмотрим наиболее распространенный цепной тип висячего трубопровода с одной фермой (рис. 1).

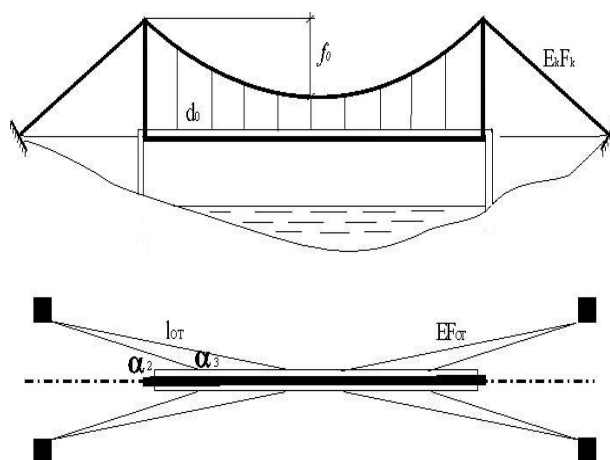


Рис. 1. Схема цепного висячего трубопровода с одной фермой

С целью получения решений для собственных частот и форм колебаний конструкций данного типа использована расчетная модель для однопролетного гибкого висячего моста в виде многопролетной неразрезной балки (труба) на промежуточных упругих опорах (кабель вместе с подвесками) [5; 6]. С учетом особенностей данной конструкции рассмотрены отдельно вертикальные и горизонтальные колебания.

Решение для собственных частот вертикальных колебаний может быть получено по формуле (1)

$$\omega_i = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{E_m I_m}{\mu d_0^4} + \frac{H_0}{\lambda_i^2 \mu d_0^2}}. \quad (1)$$

Данная формула в отличие от предлагаемой в работе [4] кроме жесткостных характеристик и распора (подкорненное выражение) учитывает и «подвешивание» балки жесткости к кабелю, что практически достигается путем замены частотного параметра $\beta_i = \frac{\pi i}{n}$ параметром λ_i

($\lambda_i^4 = \frac{\mu \omega_i^2 d_0^4}{EI}$), который определяется по графику – номограмме [6] или путем решения частотного уравнения (2), которое описывает колебания многопролетной регулярной неразрезной балки на промежуточных упругих опорах

$$\frac{sh\lambda_i}{ch\lambda_i - \cos\beta_i} - \frac{\sin\lambda_i}{\cos\lambda_i - \cos\beta_i} = \frac{2\lambda_i^3}{c'}, \quad (2)$$

Жесткость промежуточной опоры c_0 и ее относительная жесткость c' определяется по тем же зависимостям, что и для однопролетного гибкого висячего моста [5]

$$c' = \frac{c_0 d^3}{2E_m I_m}, \quad c_0 = \frac{ql}{2f_0}. \quad (3)$$

Анализ реально разработанных и выполненных проектов большого числа трубопроводов показывает, что большинство исследователей в качестве «нулевого» приближения для первых трех частот принимают известную простую зависимость (4) [4], при $\lambda_i = \beta_i$ в (1), т. е. без учета «подвешивания» балки к кабелю.

$$\omega_i = \beta_i^2 \sqrt{\frac{E_n I_n}{\mu d_0^4} + \frac{H_0}{\mu d_0^2 \beta_i^2}}, \quad (4)$$

Именно в связи с тем, что в ней не учтено «подвешивание» балки жесткости к кабелю, автор [4] рекомендует ее как «нулевое» приближение, поскольку для приведенных в его

работе трех примеров висячих мостов, «нулевое» приближение отличается от полученного затем после нескольких приближений действительного значения соответственно в 10, 40 и 6 раз.

Кроме того, при $i=1,2$ первый член подкоренного выражения для трубопроводов очень мал по сравнению со вторым (2...9 %) в силу незначительной величины момента инерции трубы и таким образом балка жесткости (труба) выпадает из расчета и уже этот факт должен насторожить проектировщика.

Однако обоснованно пренебрегая им можно получить значительно более простую формулу «нулевого» приближения для круговой частоты первых двух форм

$$\omega_i = \frac{\pi i}{2} \sqrt{\frac{g}{2f_0}}, \quad \omega_i^2 = \frac{\pi^2 i^2}{8} \cdot \frac{g}{f_0} = \frac{12,1 \cdot i^2}{f_0}. \quad (5)$$

Данная зависимость имеет тот положительный момент, что она дает верное значение частоты по второй форме (кососимметричная форма) и однозначно выделяет основной параметр висячей системы, от которого зависит частота – стрела провисания кабеля f_0 . Использовать формулы (4) и, что равносильно, (5) для определения частот симметричных форм колебаний (особенно первой) в реальном проектировании можно лишь как «нулевое приближение», что будет показано ниже.

В данном направлении имеются разработки [1; 4; 7; 8; 11] и др.

В качестве примера, использования предлагаемых автором решений и зависимостей для определения собственных вертикальных и горизонтальных колебаний висячих трубопроводов, в табл. 1 приведены параметры трубопровода, для которого в работе [1] выполнен динамический расчет.

Из параметров, не вошедших в табл. 1 можно отметить:

- по трубам проложен смотровой мостик со сплошным настилом;
- грунты основания имеют следующие характеристики: $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 40^\circ$, $R^H = 3,0 \text{ кг/см}^2$;
- собственный вес каната $q_1 = 32 \text{ кг/м}$.

Результаты расчета частот собственных вертикальных колебаний по предлагаемой методике приведены в табл. 2 в сравнении с данными расчета по методике А. В. Червякова [4], приближенным формулам В. А. Смирнова [7], по методике принятой в работе [1], методике А. В. Брагина, описанной им в [11] (в применении к висячим цепным мостам) и приближенной формуле (5).

Таблица 1

Характеристика трубопровода	Обозначение	Величина
Длина перехода, м	l	200,0
Длина панели, м	d_0	10,00
Число панелей	n	20
Расстояние между оттяжками, м	l_1	40,00
Количество оттяжек	n_1	4
Угол наклона вертикальных оттяжек	α_1	27° 30'
Углы наклона горизонтальных оттяжек	α_2	45° 00'
Диаметр трубы, мм	D	529×9
Площадь сечения трубы, см ²	F_m	147,0
Момент инерции трубы, см ⁴	I_m	50000
Момент сопротивления трубы, см ³	W_m	1885
Диаметр каната, мм	D_k	63×2
Площадь сечения каната и оттяжек, см ²	$F_k, F_{o.m}$	36,7
Модуль упругости каната и оттяжек	$E_k, E_{o.m}$	1,77
Оттяжек, МПа		15·10 ⁴
Диаметр оттяжек, мм	$d_{o.m}$	19,5
Длина оттяжек, м	$l_{o.m}$	89,4
		56,5

Таблица 2

Методика расчета или формула	Круговая частота, Гц,	
	1 форма	2 форма
По приближенным формулам В. А. Смирнова [7]	3,734	1,623
По формуле работы В. И. Киреенко [1]	0,787	1,631
По приближенной формуле [5]	0,777	1,554
По методике А. В. Червякова [4]	3,762	1,574
По методике автора с учетом «подвешивания» трубы к кабелю	3,821	1,562
По методике А. В. Брагина [11]	2,642	1,631

Предлагаемые автором решения дают надежные удовлетворительные результаты, поскольку практически совпадают с расчетами по двум другим известным методикам. Проектировщика должна привлекать сравнительная простота предлагаемой методики по следующим причинам: формулы В. А. Смирнова, А. В. Брагина довольно громоздки, а удовле-

творительный результат по методике А. В. Червякова получаем после нескольких последовательных приближений, в то время как по предлагаемой методике решения для частот имеют вид аналогичный формулам «нулевого» приближения, а частотный параметр легко определяется по графику-номограмме или по уравнению (2). Основным же достоинством такого

подхода является возможность при проектировании довольно легко увязывать параметры сооружения с периодом колебаний или, задавшись периодом, определить остальные параметры сооружения, которые будут удовлетворять условиям прочности, жесткости и автоматически исключать возможность нежелательных вибраций.

Если учесть, что критическая скорость ветра, при которой возможно создание вертикальных вибраций ($V_{кр}$), максимальное амплитудное значение аэродинамической нагрузки (F_0) и резонансная амплитуда колебаний трубы напрямую зависят от частоты (периода)

$$V_{кр} = \frac{5d}{T}, \quad F_0 = \frac{V_{кр}^2 \cdot d}{64}, \quad (6)$$

то нетрудно видеть насколько важно иметь надежный аппарат для определения собственных частот рассматриваемой висячей системы. В приведенном примере при расчете по предлагаемой автором [1] методике неверный результат по первой частоте привел к занижению значения интенсивности аэродинамической нагрузки в 4 раза и во столько же раз занижил резонансную амплитуду колебаний трубы, вызываемую указанной аэродинамической нагрузкой.

Предлагаемая методика определения собственных частот трубопровода в горизонтальной плоскости незначительно отличается от приводимой методики для вертикальных колебаний. Оттяжки, являясь упругими опорами для трубы в горизонтальном направлении, имеют жесткость, вычисляемую по простой зависимости

$$c_0 = \frac{EF_{o.m}}{l_{o.m}} \sin \alpha_i, \quad (7)$$

и относительную жесткость

$$c' = \frac{E_{o.m} F_{o.m} \cdot l_1^3}{l_{o.m} 2E_m I_m} \sin \alpha_i, \quad (8)$$

и позволяют применить аналогичную расчетную схему в виде неразрезной регулярной многопролетной балки на упругих опорах.

В работе [1] жесткость оттяжек принята равной бесконечности, аналогичная рекомендация дана и в работе [10]. Ни в первой, ни во второй работе обоснование данной рекомендации не дано. В действительности такое допущение легко доказывается лишь в одном случае, если колебания происходят по n -ой форме.

Для рассматриваемого выше примера, подставляя указанные данные в формулу (7), в дей-

ствительности имеем величину жесткости оттяжек очень далекую от бесконечности ($c_0 = 33,1 \text{ т/м}$ и $26,3 \text{ т/м}$) и тем более значение относительной жесткости ($c' = 100,8$ и $79,5$), которая и фигурирует в динамических расчетах.

Данное обстоятельство не может не повлиять на точность результата при определении собственной частоты для форм колебания отличных от n -ой, что легко проверяется. По графику-номограмме или по уравнению (2) находим для

$$i=1 \quad \text{при} \quad c' = 100,8 \quad \lambda_1^2 / 2\pi = 1,95$$

$$c' = 79,5 \quad \lambda_1^2 / 2\pi = 1,76$$

$$i=1 \quad \text{при} \quad c' = \infty \quad \lambda_1^2 / 2\pi = 3,30$$

и погрешность замены упругих оттяжек абсолютно жесткими при определении частоты составляет 69,2 и 87,5 %, что ведет за собой более грубые ошибки, поскольку неверно определенные собственные частоты в горизонтальной и вертикальной плоскости привели к неверным выводам об устойчивости сооружения в целом.

Следовательно, расчетная схема трубопровода в горизонтальной плоскости – регулярная балка на упругих опорах, а не на жестких.

Подводя итог, можно констатировать, что предлагаемая методика приемлема для определения частот как вертикальных, так и горизонтальных колебаний висячих трубопроводных переходов поскольку дает стабильные результаты, подтверждаемые и экспериментами, и расчетами по другим методикам.

Кроме того, такой подход позволяет вести проектирование методом «обратного хода» [16], при котором проектирование ведется от частоты (периода).

Исходными данными при проектировании могут быть как минимум два параметра: длина трубопровода и диаметр трубы. Третий параметр известен из нормативных документов – период собственных колебаний, т. е. диапазон в который он не должен попадать. Задавшись им вне пределов данного диапазона, находим критическую скорость ветра, максимальное амплитудное значение аэродинамической нагрузки и резонансную амплитуду колебаний трубы.

По значению круговой частоты по второй форме по приближенной формуле (5) находим стрелу провисания кабеля, далее интенсивность постоянной нагрузки и т. д., продвигаясь к формуле (1), из которой уточняем жесткость трубы, длину панели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киреенко В. И. Висячие трубопроводные переходы / В. И. Киреенко, В. Н. Шимановский, Д. А. Коршунов, Ю. В. Смирнов. – К.: Будівельник, 1968, – 158 с.
2. Петров И. П. Надземная прокладка трубопроводов / И. П. Петров, В. В. Спиридонов. – М.: Недра, 1965.
3. Гольдштейн А. С. Висячие и арочные переходы нефтепроводов / А. С. Гольдштейн, В. И. Киреенко. – М.: Недра, 1964.
4. Червяков А. В. Приближенный метод определения собственных частот и форм вертикальных колебаний висячих мостов // Сб. науч. статей ВНИИ трансп. стр-ва, вып. 8. – М., 1963.
5. Солдатов К. И. К вопросу о собственных частотах колебаний мостовых конструкций на упругих опорах // Вопросы прикладной теории колебаний: Сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1972. – Вып. 116. – С. 97–119.
6. Солдатов К. И. Свободные колебания регулярных балок и некоторых мостовых конструкций на упругих опорах: Дис. ... канд. техн. наук, – Д., 1971. – 220 с.
7. Смирнов В. А. Висячие мосты больших пролетов. – М.: Высш. шк., 1970. – С. 288–350
8. Червяков А. В. Некоторые задачи динамики висячих мостов: Дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1964.
9. Киреенко В. И. Конструкция воздушных переходов магистральных трубопроводов // Промышленное строительство и инженерные сооружения. 1960. № 5.
10. Гольденблат И. И. Справочник по расчету строительных конструкций на устойчивость и колебания / И. И. Гольденблат, А. М. Сизов. – М.: Стройиздат, 1952.
11. Качурин В. К. Проектирование висячих и вантовых мостов / В. К. Качурин, А. В. Брагин, Б. Г. Ерунов. – М.: Транспорт, 1971. – С. 184–194.
12. Киреенко В. И. Конструктивные решения и расчет висячих и арочных переходов // Строительство трубопроводов. 1962. № 8.
13. Киреенко В. И. Конструкция воздушных переходов магистральных трубопроводов // Промышленное строительство и инженерные сооружения. 1965. № 3.
14. Качурин В. К. Теория висячих систем (Статический расчет), – Л.–М.: Госуд. изд-во литер. по строит-ву. архит. и строит. материалам, 1962. – 223 с.
15. СНиП 2.05.03-84, Мосты и трубы. 1984.
16. Солдатов К. И. Некоторые вопросы определения собственных частот колебаний мостов применительно к проектированию // Вопросы статики и динамики мостов: Межв. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1987. – С. 94–103.

Надійшла до редколегії 25.05.04.

ДО ПИТАННЯ ПРО КЛАСИФІКАЦІЮ ОПОР ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ ПІД ДВІ КОЛІЇ

Розглядаються деякі питання, які пов'язані з визначенням вантажопідйомності опор двоколіїних залізничних мостів.

Рассматриваются некоторые вопросы, связанные с определением грузоподъемности опор двухпутных железнодорожных мостов.

The article considers some issues, connected with definition of carrying capacity of abutments of two-track railway bridges.

На цей час на Україні відсутній нормативний документ з визначення вантажопідйомності опор залізничних мостів методом класифікації.

«Руководство по определению грузоподъемности опор железнодорожных мостов» [1], що вийшло друком у 1995 році у російському виданні, містить цілий ряд похибок, відзначених у публікаціях [2; 3], і дає лише загальні вказівки з класифікації опор мостів під дві колії не відображає дійсної їхньої роботи. У даній роботі зроблена спроба усунути цей недолік з наступним відображенням даного матеріалу у вітчизняному нормативному документі.

Насамперед, особливість класифікації двоколіїних опор полягає в тому, що в реальних умовах, можливі три випадки дії постійних і тимчасових навантажень на двоколіїні опори:

1. На опорі встановлені двоколіїні прогінні будови і тимчасовим вертикальним навантаженням завантажуються обидві колії.

2. На опорі двоколіїного мосту встановлені прогінні будови тільки під одну колію.

3. На опорі встановлені дві одноколіїні прогінні будови, але тимчасовим вертикальним навантаженням завантажується тільки одна колія.

Крім того, принципова відмінність у визначенні вантажопідйомності опор під дві колії полягає в необхідності введення у вихідні рівняння граничних станів коефіцієнта поперечної установки, що враховує нерівномірність поперечного розподілу тимчасового вертикального навантаження і визначається за правилом важеля (1):

$$K_{\text{ПУ}} = 0,5 \pm \frac{z}{b} t, \quad (1)$$

де z – відстань від осі прогінної будови до осі колії, м; b – відстань між прогінними будови, м; t – коефіцієнт, що вводиться у розрахунок для врахування дії постійного і тимчасового навантаження залежно від розглянутих вище випадків їхнього впливу.

Для випадку 1 $t = 0$ в силу врівноваженості дії навантажень, а в двох інших випадках $t = 1$ і враховує несиметричність дії постійного або вертикального тимчасового навантаження.

У разі розрахунку двоколіїних стоянів за середнім допустимим тиском тимчасове вертикальне навантаження (рис. 1) визначається за формулою (2) для всіх трьох варіантів навантаження

$$k = \frac{mnRA - \sum N_{\text{П}}}{\varepsilon_k n_k \sum \Omega_k^N}, \quad (2)$$

$$\sum \Omega_k^N = \Omega_1 + \Omega_y = 0,5\lambda_1 + \lambda_y. \quad (3)$$

Сумарне ж вертикальне зусилля від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2, 3 визначається відповідно за формулами (4), (5) і (6):

$$\sum N_n = \sum A_i + K'_{\text{ПУ}} (B_1 + C_1) 0,5\lambda_1 + K''_{\text{ПУ}} (B_2 + C_2) 0,5\lambda_1 + E\lambda_y; \quad (4)$$

$$\sum N_n = \sum A_i + K'_{\text{ПУ}} (B_1 + C_1) 0,5\lambda_1 + E\lambda_y; \quad (5)$$

$$\sum N_n = \sum A_i + K'_{\text{ПУ}} (B_1 + C_1) 0,5\lambda_1 + K''_{\text{ПУ}} B_2 \cdot 0,5\lambda_1 + E\lambda_y. \quad (6)$$

У формулах (1)–(6) позначено:

$$\sum A_i = \sum Q_i n_{Q_i}, \quad B_i = p_i n_p,$$

$$C_i = p_{pi} n'_{pi}, \quad E = p_6 n_6,$$

$$K'_{\text{ПУ}} = 0,5 \pm \frac{z}{b} \cdot t, \quad K''_{\text{ПУ}} = 0,5 \mp \frac{z}{b} \cdot t,$$

де Q_i – власні ваги частин тіла стояна, розташованих вище перерізу, що розглядається, кН; p_1, p_2, p_p, p_6 – інтенсивності постійних розподілених навантажень відповідно від ваги прогінної будови (що спирається на стоян), оглядових пристроїв і комунікацій, мостового полотна і баласту з частинами верхньої будови колії на стояні, кН/м; n_p, n'_p, n_6 – коефіцієнти

надійності за навантаженням; n – коефіцієнт надійності за призначенням; m – коефіцієнт умов роботи; R – розрахунковий опір кладки або несучого прошарку ґрунту, кПа; A – робоча площа перерізу стояна, м²; n_k – коефіцієнт надійності до тимчасових навантажень; ϵ_k – частка вертикального навантаження від рухомого складу, що передається на стоян.

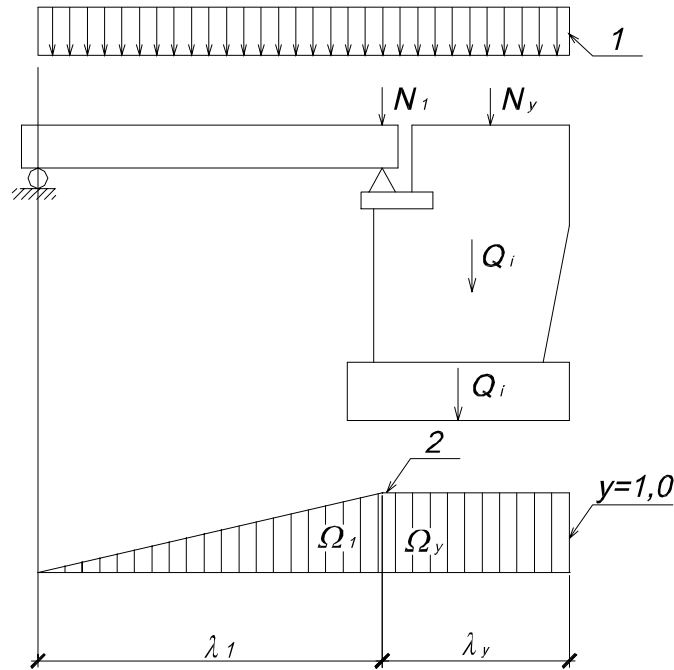


Рис. 1. Схема навантаження стояна для розрахунку за середнім тиском:

1 – тимчасове допустиме вертикальне навантаження інтенсивністю k ;

2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k

Розрахунок стоянів на міцність за максимальним тиском виконується для найбільш завантаженої грані стояна. Для передньої грані стояна це відповідає завантаженню тимчасовим вертикальним навантаженням прогінної будови, стояна і призми зсуву (рис. 2) і при цьому допустиме тимчасове вертикальне навантаження на стоян визначається за формулою:

$$k = \frac{mnRW - (\sum N_{\Pi\rho} + \sum M_{\Pi})}{\epsilon_k n_k \eta_k (\sum \Omega_k^M + \sum \Omega_k^N \rho)}, \quad (7)$$

у якій плечі нормальних сил для визначення моментів від тимчасового і постійного навантажень визначаються відносно осі, що проходить через центр ваги перерізу, який розраховується. Моменти сил, що обертають стоян проти годинникової стрілки, беруться зі знаком «плюс», а моменти сил, що обертають стоян по годинниковій стрілці, – із знаком «мінус».

$\sum \Omega_k^N$ для схеми завантаження (рис. 2) визначається за формулою (3), а

$$\sum \Omega_k^M = 0,5\lambda_1 e_1 - \lambda_y e_2 + \xi(\lambda_1 \beta + \lambda_y) \cdot 0,1z_1 + \sum \Omega_{F_i z_i} \cdot \frac{n_F}{n_k}. \quad (8)$$

$\sum N_{\Pi}$ визначають як і в розрахунку за середнім тиском за формулами (4)–(6).

Сумарний момент від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2 і 3 для цього випадку визначається відповідно за формулами (9)–(11).

$$\begin{aligned} \sum M_n = & \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi y} (B_1 + C_1) 0,5\lambda_1 e_1 + \\ & + K''_{\Pi y} (B_2 + C_2) 0,5\lambda_1 e_1 - E\lambda_y e_2 + \\ & + F_h z_h n_F + s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta n_v \eta_v; \quad (9) \end{aligned}$$

$$\sum M_n = \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi Y} (B_1 + C_1) 0,5 \lambda_1 e_1 - E \lambda_y e_2 + F_h z_h n_F + s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta n_v n_v; \quad (10)$$

$$\sum M_n = \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi Y} (B_1 + C_1) 0,5 \lambda_1 e_1 + K''_{\Pi Y} B_2 \cdot 0,5 \lambda_1 e_1 - E \lambda_y e_2 + F_h z_h n_F + s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta n_v n_v, \quad (11)$$

де F_h , z_h – рівнодіюча, кН, і плече горизонтального (бічного) тиску, м, від ваги ґрунту насипу, яка примикає до стояна; $\sum \Omega_{Fi}$, z – сумарна

площа зведеної лінії впливу горизонтального (бічного) тиску на стоян мосту від рухомого складу на призмі зсуву, м, і плече рівнодіючої цього тиску, м; s_v^{Π} , z_v^{Π} – поздовжнє вітрове навантаження на прогінну будову, кН, і плече її дії, м; β – коефіцієнт розподілу поздовжнього зусилля між опорними частинами прогінної будови; n_v , n_F , n_k – коефіцієнти надійності відповідних навантажень; $\rho = \frac{W}{A}$ – радіус ядра

перерізу, м; W , W' – моменти опору перерізу для найбільш стиснутої і найменш навантаженої граней фундаменту, м³.

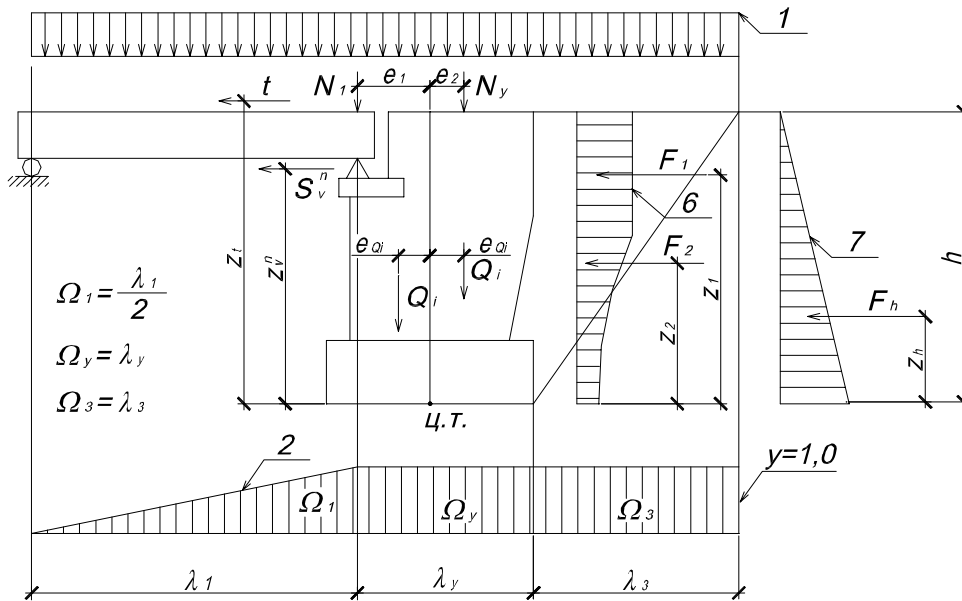


Рис. 2. Схема завантаження стояна для розрахунку за максимальним тиском:

- 1 – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ; 2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k ; 3 – епора горизонтального (бічного) тиску на стоян від транспортних засобів на призмі зсуву; 4 – епора бічного тиску від власної ваги ґрунту; ц. т. – центр ваги перерізу по підшві фундаменту

Під час розрахунку стоянів **по ексцентриситету положення рівнодіючих навантажень** схема завантаження стояна та ж сама, що і при розрахунку за максимальним тиском (рис. 2), а ексцентриситет обчислюється за формулою

$$e = \frac{\varepsilon_k n_k \eta_k k \sum \Omega_k^M + \sum M_{\Pi}}{\rho' (\varepsilon_k n_k \eta_k k \sum \Omega_k^N + \sum N_{\Pi})}, \quad (12)$$

Складові величини формули (12) $\sum \Omega_k^N$, $\sum N_{\Pi}$, $\sum \Omega_k^M$, $\sum M_{\Pi}$ і k визначаються відповідно за формулами (3), (4)–(6), (8), (9)–(11).

Якщо величина ексцентриситету прикладання рівнодіючих навантажень, яка обчислена за формулою (12), виявиться більше одиниці

($e > 1$), тобто рівнодіюча виходить за межі ядра перерізу, то допустиме навантаження на стоян за максимальним тиском корегується за методикою, що викладена в розрахунку визначення вантажопідймальності стояна за положенням рівнодіючих навантажень.

У разі розрахунку стояна **на перевертання** його завантажують, розташовуючи тимчасове навантаження тільки на призмі зсуву (рис. 3), при цьому відповідно до [4, дод. 5, табл. 2], довжина завантаження призми зсуву прийнята рівною половині висоті від підшви шпал до перерізу стояна, який розраховується. Лінія впливу рухомого тимчасового навантаження має трикутний обрис із вершиною в середині ($\alpha = 0,5$).

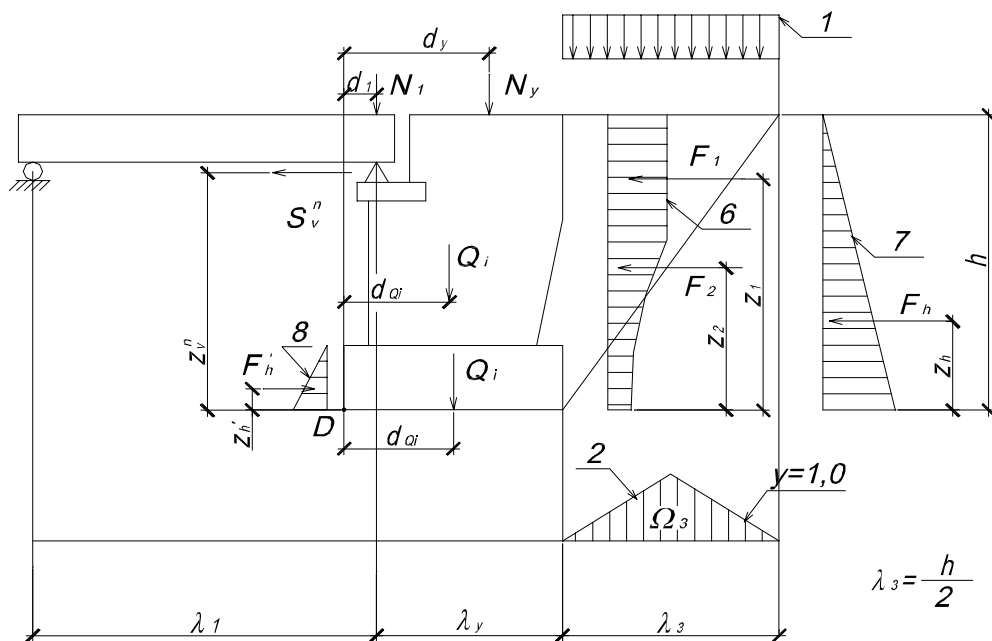


Рис. 3. Розрахункова схема завантаження стоянів для розрахунку на перекидання:
 1 – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ; 2 – лінія впливу
 вертикальних (нормальних) сил N_k ; 6 – епюра бічного тиску на стоян від навантаження на призмі зсуву;
 7 – епюра бічного тиску від власної ваги ґрунту; 8 – епюра опору ґрунту засипання;
 D – центр перекидання (обертання) стояна; d_i – відстані від центра обертання до відповідних сил.

Тимчасове вертикальне навантаження у цьому разі визначається за формулою

$$k = \frac{\frac{m_y}{n_y} \cdot \sum M_{\Pi}^y - \sum M_{\Pi}^o}{\varepsilon_k n_k \eta_k \sum \Omega_k^M}, \quad (13)$$

у якій стосовно до стояна:

$$\sum \Omega_k^M = \sum \Omega_{Fi} \cdot z_i \cdot \frac{n_F}{n_k}, \quad (14)$$

$$\sum M_{\Pi}^o = F_h z_h n_F + s_v z_v \beta n_v \eta_v. \quad (15)$$

Сумарний момент від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2 і 3 визначається відповідно за формулами (16), (17) і (18)

$$\begin{aligned} \sum M_{\Pi}^y = & \sum A_i d_{Q_i} + K'_{\Pi y} (B_1 + C_1) 0,5 \lambda_1 d_1 + \\ & + K''_{\Pi y} (B_2 + C_2) 0,5 \lambda_1 d_1 + E \lambda_y d_y + \\ & + F'_h z'_h n'_r; \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{\Pi}^y = & \sum A_i d_{Q_i} + K'_{\Pi y} (B_1 + C_1) 0,5 \lambda_1 d_1 + \\ & + E \lambda_y d_y + F'_h z'_h n'_r; \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{\Pi}^y = & A_i d_{Q_i} + K'_{\Pi y} (B_1 + C_1) 0,5 \lambda_1 d_1 + \\ & + K''_{\Pi y} B_2 \cdot 0,5 \lambda_1 d_1 + E \lambda_y d_y + \\ & + F'_h z'_h n'_r. \quad (18) \end{aligned}$$

У формулах (13)–(18) додатково позначено:
 m_y – коефіцієнт умов роботи, прийнятий рівним 0,8 для нескельних основ і 0,9 – для скельних; n_y – коефіцієнт надійності за призначенням, рівний 1,1; n_p , n'_p , n_{Q_i} , n'_r , n_{δ} – коефіцієнти надійності до утримуючих навантажень; n_v , n_F , n_r – коефіцієнти надійності до навантажень, що перекидають стоян; $F'_h z'_h$ – рівнодіюча і плече дії горизонтального тиску ваги ґрунту, що лежить нижче природної поверхні землі.

Розрахунок стояна **на зсув по ґрунту** виконується для тієї ж схеми завантаження, що і на перекидання (рис. 3). Допустиме тимчасове навантаження визначається за формулою

$$k = \frac{\frac{m_y}{n_y} \cdot \sum N_{\Pi}^y f - \sum N_{\Pi}^c}{\varepsilon_k n_k \eta_k \cdot \sum \Omega_k^N}, \quad (19)$$

у який у свою чергу

$$\sum \Omega_k^N = \sum \Omega_{Fi}, \quad (20)$$

$$\sum N_{\Pi}^c = s_v n_v \eta \beta + F_h n_r, \quad (21)$$

де f – коефіцієнт тертя по поверхні ґрунту;
 $\sum \Omega_k^N$ – сумарна площа лінії впливу тимчасового вертикального навантаження, яка прирівнюється до зведеної площі лінії впливу горизонтального (бічного) навантаження на торець стояна від рухомого складу на призмі зсуву.

Сумарне вертикальне зусилля від постійних і тимчасових навантажень $\sum N_{\Pi}^y$ для варіантів 1, 2 і 3 визначається відповідно за формулами (4), (5) і (6).

Визначення вантажопідймальності двокільйонних проміжних опор несуттєво відрізняється від розрахунку стоянів.

Розрахункова схема проміжної опори (би-ка) за **середнім тиском** (рис. 4) передбачає завантаження тимчасовим вертикальним навантаженням усіх прогінних будов, які обпираються на опору. У розрахунок за середнім тиском вводять тільки вертикальні постійні навантаження і тимчасове навантаження, розмір якого знаходять за формулою (2), що у разі розрахунку проміжної опори, для всіх трьох розглянутих варіантів завантаження дорівнює

$$\sum \Omega_k^N = \Omega_1 + \Omega_2 = 0,5\lambda_1 + 0,5\lambda_2. \quad (22)$$

Сумарне вертикальне зусилля від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2, 3 визначається відповідно за формулами (23)–(25):

$$\begin{aligned} \sum N_{\Pi} = \sum A_i + K'_{\Pi y} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 + \\ + (B_2 + C_2)\lambda_2] + K''_{\Pi y} \cdot 0,5[(B_3 + C_3)\lambda_1 + \\ + (B_4 + C_4)\lambda_2]; \quad (23) \end{aligned}$$

$$\sum N_{\Pi} = \sum A_i + K'_{\Pi y} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 + \\ + (B_2 + C_2)\lambda_2], \quad (24)$$

$$\sum N_{\Pi} = \sum A_i + K'_{\Pi y} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 + \\ + (B_2 + C_2)\lambda_2] + K''_{\Pi y} \cdot 0,5(B_3\lambda_1 + B_4\lambda_2), \quad (25)$$

де $\sum Q_i \cdot n_{Qi}$ – власна вага частин тіла опори вище розрахункового перерізу з відповідним коефіцієнтом надійності за призначенням; p_1, p_2, p_3, p_4 – сумарна інтенсивність постійних навантажень від ваги прогінних будов, оглядових пристроїв, комунікацій тощо; $p_{p1}, p_{p2}, p_{p3}, p_{p4}$ – інтенсивність навантаження від ваги мостового полотна, розподіленого по довжині прогінної будови; n_p, n'_p – коефіцієнти надійності по навантаженнях.

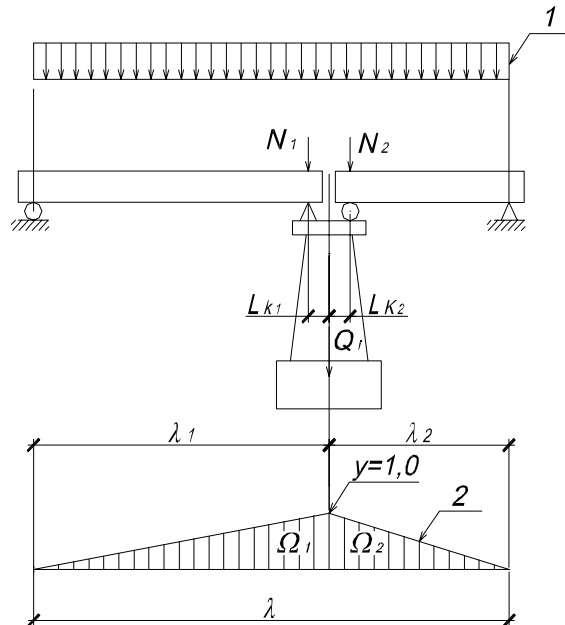


Рис. 4. Схема завантаження проміжної опори для розрахунку за середнім тиском:

1 – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ;

2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k

У свою чергу

$$\lambda_1 = l_{p1} + e_{k1}; \quad \lambda_2 = l_{p2} + e_{k2}, \quad (26)$$

де e_{k1}, e_{k2} – довжина консолей поздовжніх балок, м; l_{p1}, l_{p2} – величина розрахункового прогону прогінних будов, що обпираються на опору.

Вантажопідйомність проміжних опор **за максимальним тиском** визначають у поздовжньому і поперечному напрямках.

Під час розрахунку у поздовжньому напрямку на максимальний тиск проміжну опору необхідно перевіряти по двох розрахункових схемах, завантажуючи тимчасовим навантаженням обидва прогони (рис. 4) або один (більший) прогін (рис. 5). Допустиме тимчасове навантаження визначають за формулою (7), у якій $\sum N_n$ визначають так само, як і в розрахунку за середнім тиском, за формулами (23)–(25) відповідно для трьох варіантів навантаження.

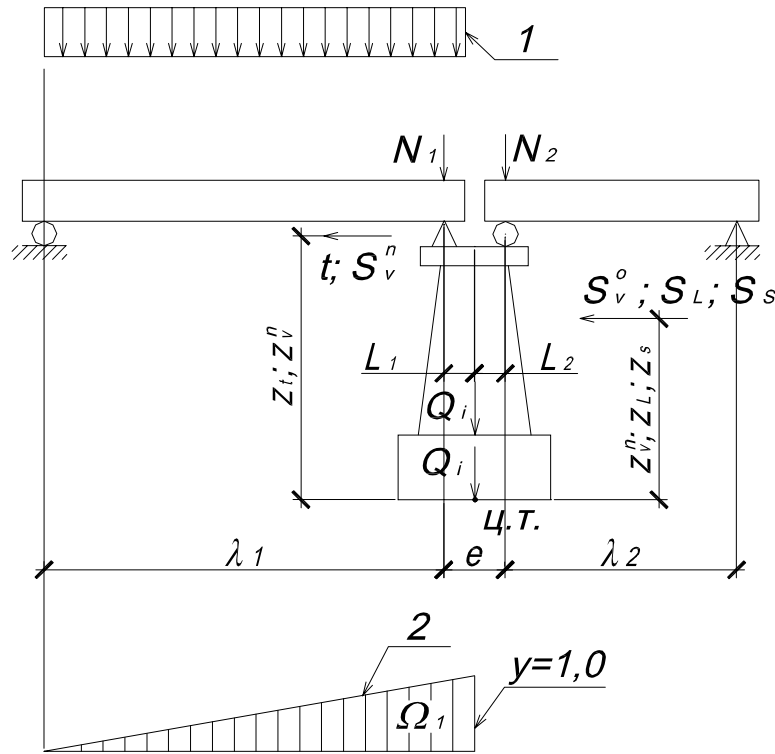


Рис. 5. Схема завантаження проміжної опори на максимальний тиск у поздовжньому напрямку:

1 – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ;
2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k ; ц. т. – центр ваги перерізу по підшві фундаменту

Площі ліній впливу нормальних сил і згинальних моментів, визначають за формулами:

- у разі завантаження одного прогону

$$\sum \Omega_k^N = \Omega_1 = 0, 5\lambda_1, \quad (27)$$

$$\sum \Omega_k^M = \Omega_1 e_1 + 0,1 z_t \beta l_1 \zeta; \quad (28)$$

- у разі завантаження двох прогонів

$$\sum \Omega_k^N = \Omega_1 + \Omega_2 = 0,5\lambda_1 + 0,5\lambda_2, \quad (29)$$

$$\sum \Omega_k^M = \Omega_1 e_1 - \Omega_2 e_2 + 0,1z_t \beta l_1 \zeta. \quad (30)$$

Сумарний момент від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2, 3 визначається відповідно за формулами (31)–(33):

$$\begin{aligned} \sum M_{\Pi} = & \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi Y} \cdot 0,5 \left[(B_1 + C_1) \lambda_1 e_1 - \right. \\ & \left. - (B_2 + C_2) \lambda_2 e_2 \right] + K''_{\Pi Y} \cdot 0,5 \times \\ & \left[(B_3 + C_3) \lambda_1 e_1 - (B_4 + C_4) \lambda_2 e_2 \right] + s_i z_i n_i \eta_i \\ & + s_s z_s n_s \eta_s + \left(s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta + s_v^0 z_v^0 \right) n_v \eta_v, \quad (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{\Pi} = & \sum A_i e_{Q_i} + K'_{\Pi V} \cdot 0, 5 \left[(B_1 + C_1) \lambda_1 e_1 - \right. \\ & \left. - (B_2 + C_2) 0, 5 \lambda_2 e_2 \right] + s_l z_l n_l \eta_l + \\ & + s_s z_s n_s \eta_s + \left(s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta + s_v^0 z_v^0 \right) n_v \eta_v ; \quad (32) \end{aligned}$$

$$\sum M_{\Pi} = \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi V} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 e_1 - (B_2 + C_2)\lambda_2 e_2] + K''_{\Pi V} \cdot 0,5[B_3 \lambda_1 e_1 - B_4 \lambda_2 e_2] + s_l z_l n_l \eta_l + s_s z_s n_s \eta_s + (s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta + s_v^0 z_v^0) n_v \eta_v. \quad (33)$$

У формулах (27) – (33) введені додаткові позначення: e_1, e_2, e_{Qi} – горизонтальні відстані (плечі) від ц. т. перерізу до відповідних навантажень; $z_l, z_v^{\Pi}, z_v^0, z_l, z_s$ – вертикальні плечі навантажень до рівня перерізу, що розраховується; s_v^{Π}, s_v^0 – поздовжні вітрові навантаження на прогінну будову і на опору; s_l – льодове наванта-

ження; s_s – навантаження від навалу суден; n_v, n_l, n_s, n_k – коефіцієнти надійності по відповідних навантаженнях; η_v, η_l, η_s – коефіцієнти сполучень тимчасових навантажень; L_1, L_2 – величини повних довжин прогінних будов, м.

Інші літерні позначення ті ж самі, що і в розрахунках опори за середнім тиском.

У разі розрахунку **в поперечному напрямку** тимчасовим вертикальним навантаженням за схемою завантаження проміжної опори в поперечному напрямку завантажують обидва прого-ни (рис. 6). Розмір допустимого тимчасового вертикального навантаження визначають за формулою (7), як і у разі розрахунку в поздовжньому напрямку.

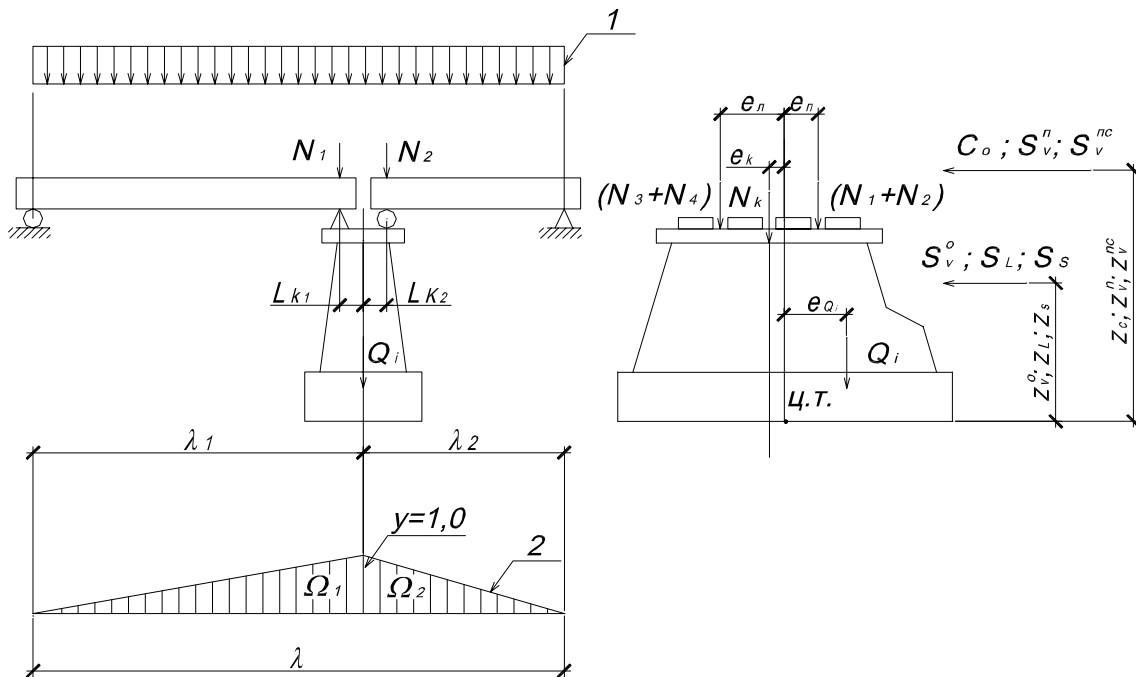


Рис. 6. Схема завантаження проміжної опори на максимальне навантаження в поперечному напрямку:

1 – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ;

2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k ; ц. т. – центр ваги перерізу по підшві фундаменту

Стосовно до розрахунку опори в поперечному напрямку величини моментів і площ лінії впливу підраховують за такими формулами:

$$\sum \Omega_k^N = \Omega_1 + \Omega_2 = 0,5\lambda_1 + 0,5\lambda_2, \quad (34)$$

$$\sum \Omega_k^M = \Omega_1 \cdot e_k + c_o \cdot z_c \cdot \zeta(\lambda_1 + \lambda_2), \quad (35)$$

де z_c – плече відцентрової сили c_o .

$\sum N_{\Pi}$ визначають так само, як і в розрахунку за середнім тиском, за формулами (23)–(25) відповідно для трьох варіантів завантаження.

Сумарний момент від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2, 3 визначається відповідно за формулами (36)–(38).

$$\begin{aligned} \sum M_{\Pi} = \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi V} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 + (B_2 + C_2)\lambda_2] e_k + K''_{\Pi V} \cdot 0,5 \times \\ \times [(B_3 + C_3)\lambda_1 + (B_4 + C_4)\lambda_2] e_k + s_l z_l n_l \eta_l \\ + s_s z_s n_s \eta_s + (s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} \beta + s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} + s_v^0 z_v^0) n_v \eta_v \end{aligned} \quad (36)$$

$$\sum M_{\Pi} = \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi\gamma} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 + (B_2 + C_2)\lambda_2] e_k + s_l z_l n_l \eta_l + s_s z_s n_s \eta_s + (s_v^{PC} z_v^{PC} + s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} + s_v^o z_v^o) n_v \eta_v], \quad (37)$$

$$\sum M_{\Pi} = \sum A_i e_{Qi} + K'_{\Pi\gamma} \cdot 0,5[(B_1 + C_1)\lambda_1 + (B_2 + C_2)\lambda_2] e_k + K''_{\Pi\gamma} \cdot 0,5 \times [B_3 \lambda_1 + B_4 \lambda_2] e_k + s_l z_l n_l \eta_l + s_s z_s n_s \eta_s + (s_v^{PC} z_v^{PC} + s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} + s_v^o z_v^o) n_v \eta_v, \quad (38)$$

де s_v^{PC}, z_v^{PC} – поперечне вітрове навантаження на рухомий склад, що знаходиться на прогінній будові, і плече даного навантаження, м.

Інші позначення величин ті ж самі, що й у формулах (27) і (33), за винятком того, що навантаження діють у поперечному напрямку до осі моста.

Перевірку **положення рівнодіючих** постійних і тимчасових навантажень виконують для ексцентрисично завантажених опор з метою з'ясування положення рівнодіючої відносно ядра перерізу.

Фактичний ексцентриситет положення рівнодіючої визначається тільки в перерізі по підшві фундаменту як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку за тими ж схемам завантаження (див. рис. 4–6), що й у розрахунках за максимальним тиском. Величина ексцентриситету визначається за формулою (12). Значення величин, що входять у формулу (12), визначають за формулами, які наведені вище.

Якщо величина ексцентриситету $e < 1$, тобто рівнодіюча не виходить за межі ядра перерізу, то розтягнення в найменш завантаженої грані не виникає, а в перерізі по підшві не спостерігається «відлипання» ґрунту і весь переріз зазнає стиснення (верхня епюра на рис. 7). У цьому випадку уточнювати клас опори за максимальним тиском не потрібно.

Якщо ж ексцентриситет $e > 1$ (рівнодіюча виходить за межі ядра перерізу), то в менш навантаженій грані виникає розтягнення, а стиснення зазнає тільки частина перерізу довжиною y_c (нижня епюра на рис. 7). У цьому випадку клас за максимальним тиском необхідно уточнити, перерахувавши його з урахуванням тільки стиснутої частини площі поперечного перерізу опори. Розмір стисненої частини опори

$$y_c = y - \frac{y_o(e-1)}{e}. \quad (39)$$

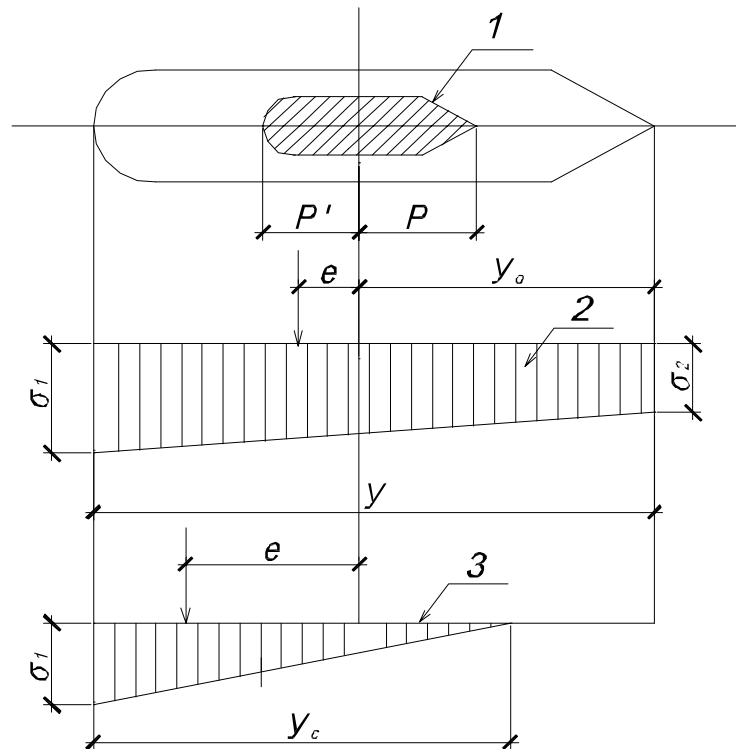


Рис. 7. Положення рівнодіючих навантажень і епюри напружень по підшві фундаменту:
1 – ядро перерізу; 2 – епюра нормальних напруг по підшві фундаменту при ексцентриситеті рівнодіючих навантажень $e < 1$; 3 – епюра нормальних напруг по підшві фундаменту при ексцентриситеті рівнодіючих навантажень $e > 1$

Значення відкоригованого допустимого навантаження за максимальним тиском по підшві фундаменту з урахуванням виходу рівнодіючих усіх навантажень за межі ядра перерізу визначають за формулою (29), підставляючи в неї значення ρ , яке визначене за формулою (44).

Розрахунок опори на перекидання провадиться на одну комбінацію тимчасових навантажень у подовжньому напрямку і на дві комбінації в поперечному; допустиме навантаження в цьому розрахунку визначається за формулою (13).

$$\sum \Omega_k^{Mo} - \frac{m_y}{n_y} \cdot \sum \Omega_k^{My} = \lambda \cdot 0,1\zeta \cdot z_i \cdot \beta - \frac{m_y}{n_y} d_1 \Omega_1, \quad (40)$$

Утримуючий момент постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2, 3 визначається відповідно за формулами

$$\sum M_{\Pi}^{\gamma} = \sum A_i d_{Qi} + K'_{\Pi\gamma} 0.5 \left[(B_1 + C_1) 0.5 \lambda_1 d_1 + \right. \\ \left. + (B_2 + C_2) \lambda_2 d_2 \right], \quad (43)$$

The diagram illustrates a crane system with various components and parameters:

- Top Section:** A horizontal beam labeled "1" is supported by a roller at its left end. It carries a uniformly distributed load represented by downward arrows. Two vertical forces, N_1 and N_2 , are applied to the beam at distances d_1 and d_2 from a central vertical axis.
- Middle Section:** A trolley or carriage is positioned on a track. It contains two pulleys through which cables pass. The distance between the cable attachment points on the trolley is t . The vertical distance from the top of the trolley to the center of rotation is $Z_t; Z_v^n$.
- Bottom Section:** A hook assembly is shown below the trolley. It consists of a hook body and a shackle. The weight of the hook body is Q_i and the weight of the shackle is Q_i . The distance between the cable attachment points on the hook is d_{Qi} . The vertical distance from the bottom of the hook to the center of rotation is Z_v^o .
- Dimensions and Labels:**
 - D : Horizontal distance from the central vertical axis to the center of rotation.
 - λ_1 and λ_2 : Horizontal distances from the central vertical axis to the left and right supports of the bottom section, respectively.
 - S_v^n and S_v^o : Horizontal distances from the central vertical axis to the centers of rotation for the upper and lower sections, respectively.
 - $y=1,0$: A label indicating a specific condition or state.
 - Ω_1 : A label for a shaded area at the bottom left.

I – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ;
 2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k ; точка D – центр перекидання (обертання) опори;
 d_i – відстані від центра обертання до відповідних сил

У формулах (48)–(50) коефіцієнти надійності до утримуючих навантажень (n_{Qi}, n_p, n'_p) приймають менше одиниці, інші позначення пояснені раніше. Центр перекидання опори – точка D – показана на рис. 8; відстані від центра перекидання до відповідних вертикальних сил позначені через d_i . Розрахунок на перекидання в поздовжньому напрямку рекомендується виконувати при z_t рівному або більш 12 м; для масивних опор меншої висоти перекидання мало вірогідне.

У разі розрахунку в **поперечному напрямку** (рис. 9) у загальну розрахункову формулу (45) для оцінки вантажопідйомності в поперечному напрямку підставляють:

$$\sum \Omega_k^{Mo} - \frac{m_y}{n_y} \sum \Omega_k^{My} = \lambda c_0 \zeta z_c - \frac{m_y}{n_y} d_1 \Omega; \quad (45)$$

$$\sum M_{\Pi}^0 = (s_v^{\Pi} z_v^{\Pi} + s_v^{\Pi C} z_v^{\Pi C} + s_v^0 z_v^0) \times \\ \times n_v \eta_v + s_l z_l n_l \eta_l + s_s z_s n_s \eta_s. \quad (46)$$

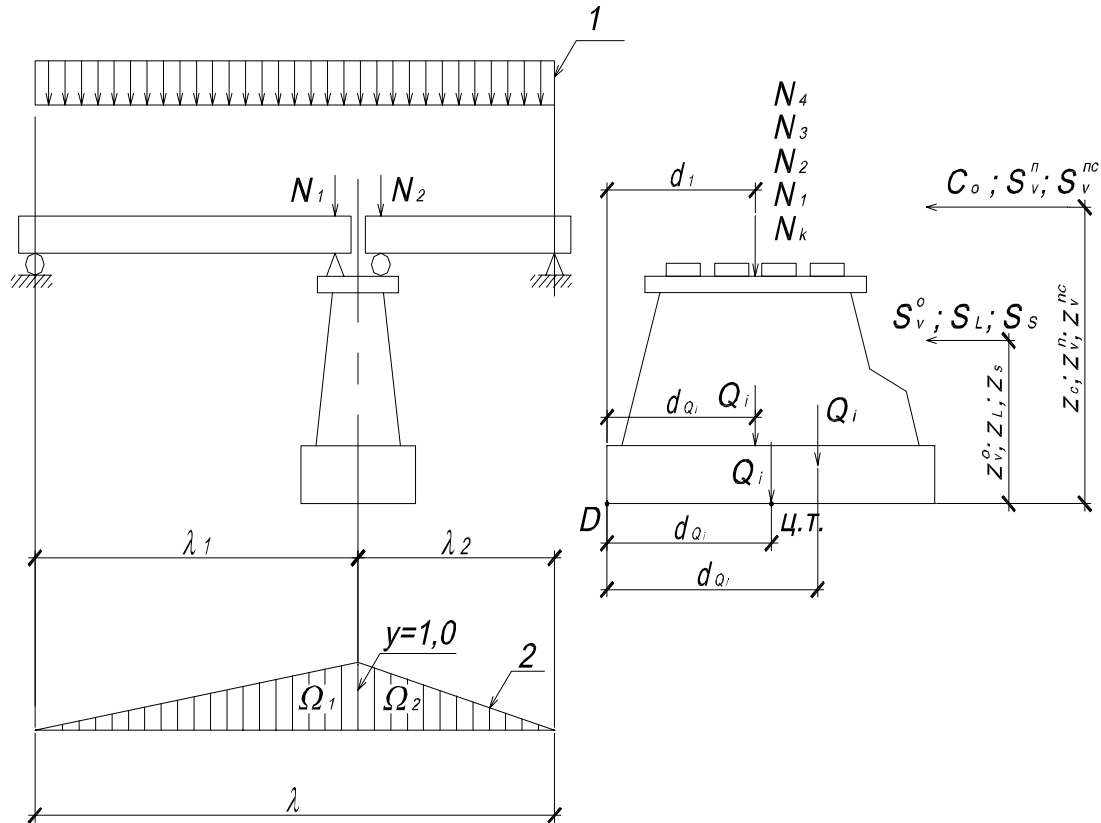


Рис. 9. Розрахункова схема завантаження проміжної опори на перевертання в поперечному напрямку:

1 – допустиме тимчасове вертикальне навантаження інтенсивністю k ;

2 – лінія впливу вертикальних (нормальних) сил N_k ; D – центр перевертання опори;

d – відстані від центра обертання до відповідних сил; ц. т. – центр ваги перерізу по підшві фундамента

Утримуючий момент від постійних і тимчасових навантажень для варіантів 1, 2, 3 визначаються відповідно за формулами (47)–(49).

$$\sum M_{\Pi}^y = \sum A_i d_{Qi} + K'_{\Pi y} 0,5 [(B_1 + C_1) \lambda_1 + \\ + (B_2 + C_2) \lambda_2] d_1 + K''_{\Pi y} 0,5 \times \\ \times [(B_3 + C_3) \lambda_1 + (B_4 + C_4) \lambda_2] d_1; \quad (47)$$

$$\sum M_{\Pi}^y = \sum A_i d_{Qi} + K'_{\Pi y} 0,5 [(B_1 + C_1) \lambda_1 + \\ + (B_2 + C_2) \lambda_2] d_1; \quad (48)$$

$$\sum M_{\Pi}^y = \sum A_i d_{Qi} + K'_{\Pi y} 0,5 [(B_1 + C_1) \lambda_1 + \\ + (B_2 + C_2) \lambda_2] d_1 + \\ + K''_{\Pi y} 0,5 [B_3 \lambda_1 + B_4 \lambda_2] d_1. \quad (49)$$

Так само як і в розрахунку на подовжнє перекидання, коефіцієнти надійності до утримуючих навантажень (n_{Qi}, n_p, n'_p) приймають меншими одиниці, а коефіцієнти надійності до навантажень, що перекидають опору, n_v, n_l, n_s – більшими за одиницю.

Перевірку опор на перекидання в поперечному напрямку рекомендується робити при z_c більш 10 м для опор під прогінні будови з їздою поверху і z_c більше 18 м для опор під прогінні будови з їздою понизу.

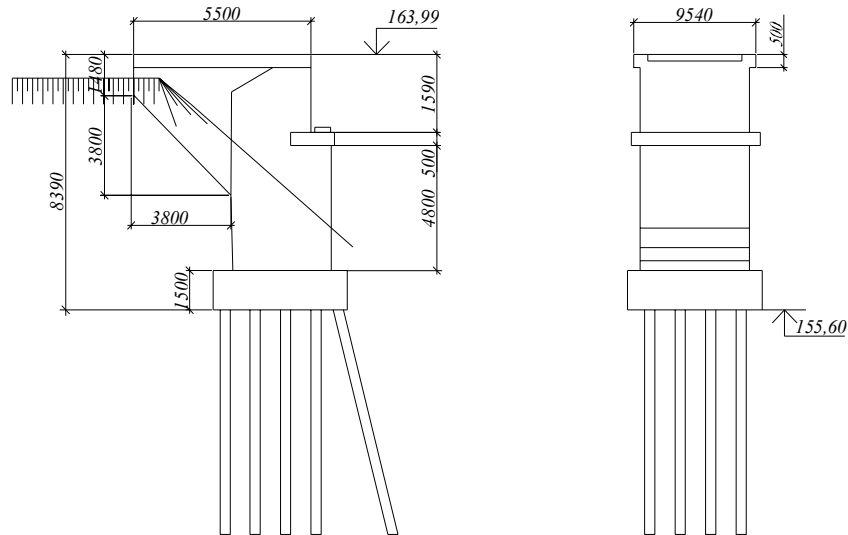


Рис. 10. Схема двоколійного стояна

Вихідні дані такі: величина розрахункового прогону прогінної будови $l_1 = \lambda_1 = 12,8$ м; довжина завантаження тіла стояна $\lambda_y = 2,8$ м; завантаження призми зсуву $\lambda_3 = 4,2$ м; трикутної частини лінії впливу $\lambda_\Delta = 12,8$ м; прямокутної ділянки лінії впливу $\lambda_\Pi = 7,0$ м.

У загальному випадку клас стояна визначається за формулою:

$$K = \frac{k}{k_n (1 + \mu)}.$$

Допустиме тимчасве вертикальне навантаження на підшву фундаменту за максимальним тиском визначається за формулою (7) у якій $m = 1,2$ (для нескільких ґрунтів), $n = 0,72$; $W = 48,1$ м³; $R = 3,29$ МПа (при $R_0 = 15$ т/м², $k_1 = 0,02$ м⁻¹; $k_2 = 1,5$; $\gamma = 2,0$ т/м³; $d = 1,95$ м; $b = 5,5$ м; та з врахуванням коефіцієнта 1,5 для ґрунту, що експлуатується певний термін часу) [1]; $\varepsilon_k = 1,856$ ($\varepsilon_k = 1,0$ – для першої колії; $\varepsilon_k = 0,856$ – для другої колії); $n_k = 1,130$; $\eta_k = 0,8$. Для стояна, що класифікується,

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_y + \lambda_3 = 19,8 \text{ м.}$$

У разі розрахунку за формулами [1]:

Як приклад застосування методики, що пропонується, визначимо вантажопідйомність стояна (рис. 10).

Розрахункова схема стояна для розрахунку за максимальним тиском наводилася раніше (див. рис. 2).

$$\sum N_\Pi = 6751 \text{ кН. } A = 52,47 \text{ м}^2;$$

$$\rho = 0,917 \text{ м; } \sum M_{A-A} = 32974 \text{ кН}\cdot\text{м;}$$

$$e_{A-A} = 4,884 \text{ м; } e_0 = 0,634 \text{ м;}$$

$$\sum M_{ц.т} = -4280 \text{ кН}\cdot\text{м; } z_h = 2,8 \text{ м; } \varphi = 35^\circ;$$

$$n_\Gamma = 1,4; F_h \cdot z_h \cdot n_\Gamma = 6240,5 \text{ кН}\cdot\text{м;}$$

$$\sum M_\Pi = -4280 + 6240 = 1960 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Поздовжнім вітровим навантаженням зневажаємо.

$$\sum \Omega_k^N = 9,2 \text{ м}^2, \sum \Omega_k^M = 0,32 \text{ м}^2;$$

$$e_1 = 0,05 \text{ м; } \lambda_y \cdot e_2 = 3,78 \text{ м}^2;$$

$$(\beta \lambda_1 + \lambda_y) 0,1 z_t \cdot \zeta = 10,46 \text{ м}^2,$$

де $\beta = 1,0$; $\zeta = 0,799$ (при $\lambda = 19,8$ м). Для багатоколійних стоянів при несиметричному навантаженні

$$\Omega_F = \Omega_{F1} + \Omega_{F2} + \Omega_{F3}.$$

Плечі сил, що діють на стоян мосту, наведені на рис. 11.

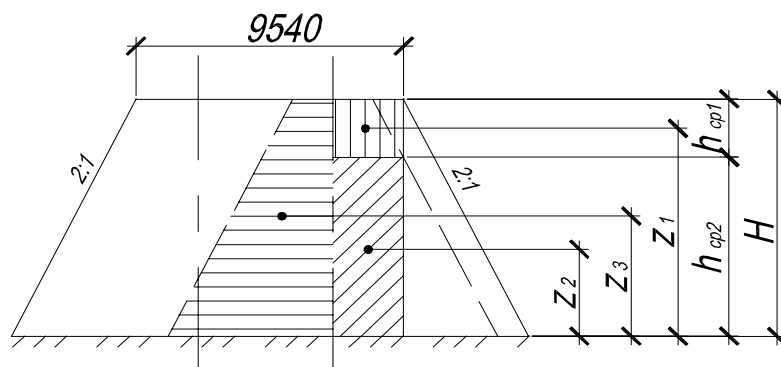


Рис. 11. Схема розповсюдження тиску на стоян

$$h_{cp1} = 2,31 \text{ м}; \quad h_{cp2} = 6,08 \text{ м};$$

$$z_1 = 7,235 \text{ м}; \quad z_2 = 3,04 \text{ м}; \quad z_3 = 4,195 \text{ м};$$

$$b_{cp} = 2,505 \text{ м}; \quad \Omega_{F1} = 16,713 \text{ м}^2;$$

$$\Omega_{F2} = 19,05 \text{ м}^2; \quad \Omega_{F3} = 35,196 \text{ м}^2;$$

$$\sum \Omega_{cp} = 9,61 \text{ м}^2; \quad \sum \Omega_k^M = 12,446 \text{ м}^2.$$

Тимчасове вертикальне допустиме навантаження $k = 157,52 \text{ кН/м}$.

Еталонне навантаження $k_n = 17,36 \text{ кН/м}$.

Динамічний коефіцієнт при тепловозній тязі $1 + \mu = 1,305$.

Клас стояна при розрахунку за методикою [1] $K = 6,95$.

У разі розрахунку з урахуванням коефіцієнта, який враховує нерівномірність дії постійних і тимчасових навантажень

$$\sum N_{\Pi} = 6568,5 \text{ кН}; \quad \sum M_{A-A} = 32974 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$e_{A-A} = 5,02 \text{ м}; \quad e_0 = 0,77 \text{ м};$$

$$\sum M_{ц.т} = -5060 \text{ кН}\cdot\text{м}; \quad \sum M_{\Pi} = 1180 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Поздовжнім вітровим навантаженням зневажаємо, оскільки його величина надто мала.

Допустиме вертикальне навантаження на стоян $k = 185,21 \text{ кН/м}$.

Еталонне навантаження $k_n = 17,36 \text{ кН/м}$.

Динамічний коефіцієнт при тепловозній тязі: $1 + \mu = 1,305$. Клас стояна $K = 8,18$.

Як видно із наведених розрахунків врахування коефіцієнта розподілення навантажень сприяє уточненню вантажопідйомності опор двоколієних мостів і її підвищенню.

Методика, яка викладена в цій роботі, може бути рекомендована для включення до складу вітчизняного нормативного документу з визначення вантажопідйомності опор мостів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Руководство по определению грузоподъемности опор железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1995. – 143 с.
2. Белозерова Е. А. Исследование влияния расчетных параметров на класс устоев / Е. А. Белозерова, К. И. Солдатов, В. И. Соломка // Будівництво: Зб. наук. пр. ДПТУ, – Д., 2002. – Вип. 10. – С. 83–87.
3. Солдатов К. И. К вопросу о классификации опор железнодорожных мостов / К. И. Солдатов, С. В. Лепицкий // Будівництво: Зб. наук. пр. ДПТУ. – Д., 2000. – Вип. 8. – С. 82–88.
4. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 214 с.

Надійшла до редколегії 06.05.04.

В. И. СОЛОМКА, В. Л. ГОРОБЕЦ, В. И. БОРЦОВ (ДИИТ)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СТРУКТУРЫ ИХ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ

Запропоновано викладені основні положення методики проведення робіт з оцінки технічного стану залізобетонних прогонових будов мостів і визначення обсягу і структури їх поточного утримання, розробленої на основі методів теорії надійності і математичної статистики. У методиці передбачається, що планування необхідних ремонтів і заміन прогонових будов мостів виконується на основі аналізу стану споруд в заданий період часу і їх поведінки протягом усього строку експлуатації, шляхом мінімізації витрат на проведення ремонтних робіт чи замінів. Визначається доцільність подальшої експлуатації споруд за умови, що витрати на ремонт не перевищують доходів від експлуатації.

Предложены основные положения методики проведения работ по оценке технического состояния железобетонных пролетных строений мостов и определения объема и структуры их текущего содержания, разработанной с применением методов теории надежности и математической статистики. Методика предполагает, что планирование необходимых ремонтов и замен пролетных строений мостов выполняется на основе анализа состояния сооружения в заданный период времени и поведения сооружения на протяжении всего периода его эксплуатации, путем минимизации затрат на проведение ремонтных работ или замен. Определяется целесообразность дальнейшей эксплуатации сооружений при условии, что затраты на ремонты не превышают доходов от эксплуатации.

The article proposes fundamentals of working method of assessment of technical state of reinforced-concrete span structures of bridges and determination of the volume and structure of their current maintenance, developed with the use of methods of reliability theory and mathematical statistics. The method stipulates that the planning of obligatory repairs and changes of the span structures on the bridge is carried out on the basis of an analysis of the state of the facility in a certain period of time and its behavior during all of the service life, by way of minimization of the costs of the repair works or changes. Expediency of further operation of the facility is determined, provided that the costs of its repair do not exceed the incomes from its operation.

Оценка технического состояния эксплуатируемых искусственных сооружений и разработка мероприятий по их содержанию и ремонту является первостепенной задачей для служб осуществляющих эксплуатацию действующих сооружений. В настоящее время этот вопрос решается на основе научных методов с применением теории надежности и математической статистики.

Целью оценки технического состояния и условий эксплуатации искусственных сооружений, по разработанной в ДИИТе методике, является изучение и определение действительного физического состояния конструкций моста, выявление недостатков проекта и строительства, а также дефектов и расстройств, появившихся в процессе эксплуатации, определение степени повреждений и их влияние на грузоподъемность, безопасность движения транспорта и долговечность сооружения, а также

разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации сооружений.

В статье изложены основные положения методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов по их состоянию.

Источником информации о техническом состоянии железобетонных железнодорожных мостов на протяжении их срока службы являются:

- техническая, проектная и эксплуатационная документация, в которой хранятся сведения о состоянии моста на протяжении всего его жизненного цикла;
- сведения о дефектах пролетных строений, получаемые из отчетов по сплошным обследованиям, выполненным мостоиспытательными станциями, хранящихся в отделах искусственных сооружений управлений железных дорог Украины;

– отчеты о специальных обследованиях по оценке технического состояния мостов, выполненных сторонними организациями по заказу управлений железных дорог или Укрзализныци;

– карточки искусственных сооружений, хранящиеся в отделах искусственных сооружений управлений железных дорог Украины и сведения о выполненных капитальных ремонтах сооружений или заменах пролетных строений на новые конструкции.

Качество и полнота обследований пролетных строений имеют огромное значение при определении фактической надежности, долговечности и грузоподъемности мостов. Поэтому в последние годы в методику обследований внедряют системный подход к организации сбора, переработки и анализа информации о состоянии искусственных сооружений. Создание информационно-поисковых систем искусственных сооружений позволяет хранить, накапливать и изменять данные об их состоянии на протяжении всего жизненного цикла. А также систематизировать, производить статистическую обработку информации о дефектах, классификацию дефектов и повреждений, определить характер и динамику их развития.

При обследовании мостов необходимо в первую очередь обращать внимание на дефекты, которые могут приводить к ограничению их работоспособности либо служить причиной их перехода в предельное состояние.

Методика обследования железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов согласно [1] включает следующие этапы:

- изучение технической документации (проектной, исполнительной и эксплуатационной);
- осмотр сооружения с замерами его основных геометрических параметров;
- определение механических характеристик материалов;
- инструментальная съемка и контрольные измерения;
- черчение элементов;
- составление ведомости дефектов;
- фотографирование конструкции, а также ее дефектов;
- выводы и разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации искусственного сооружения.

Для оценки технического состояния эксплуатируемых железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов с использованием методики оценки объема и структуры

текущего содержания по их состоянию необходимо тщательное фиксирование выявленных дефектов и повреждений, изучение документации отражающей время и характер появления дефектов и повреждений, а также время устранения их на протяжении всего жизненного цикла моста.

Следует фиксировать следующую информацию:

- принадлежность дефекта к той или иной группе;
- время появления дефекта;
- время устранения дефекта;
- периодичность сплошных осмотров;
- время проведения капитальных ремонтов, если таковые имели место;
- время выполненных замен или усиления как пролетного строения, так и отдельных элементов конструкции.

Вследствие недостаточности регистрации информации о дефектах, практически всегда имеет место дефицит объема информации об истории появления и устранения дефектов пролетного строения отдельно взятого моста.

С целью повышения достоверности прогноза о влиянии структуры и объема проведения работ по текущему содержанию искусственных сооружений на их надежность и долговечность допускается объединение данных о возникновении и устранении дефектов пролетных строений мостов подобного типа.

Критерии возможности объединения информации о дефектах искусственных сооружений представлены в табл. 1.

Данная методика не предполагает применение научно обоснованного учета физико-механических процессов в материале железобетонных искусственных сооружений в период их эксплуатации. Она основана на использовании определенных формальных результатов (предыстории) эксплуатации искусственных сооружений.

В соответствии с обзором экспериментальных данных [2], предполагается линейная зависимость интенсивностей возникновения дефектов пролетных строений мостов от времени.

Использование данной методики возможно при наличии представительной статистики о появлении дефектов, включающей не менее 20 наблюдений в каждом принятом периоде обследований сооружения, при этом предполагается, что интенсивности появления отказов являются функциями времени

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(t) = a_{ij} + b_{ij}t.$$

Критерии возможности объединения информации о дефектах ИС

Наименование критерия	Название предельного значения	Предельное значение, %
Расположение однотипных мостов на одной магистральной линии в одинаковых климатической и экологической зонах	—	—
Расположение однотипных мостов на разных магистральных линиях в одинаковых климатической и экологической зонах	максимальное отличие грузонапряженности на искусственном сооружении	15
Расположение железобетонных мостов различного типа на одной магистральной линии в одинаковых климатической и экологической зонах	отличие расчетных напряжений в местах появления дефектов	4
Расположение железобетонных мостов различного типа на разных магистральных линиях в одинаковых климатической и экологической зонах	максимальное отличие грузонапряженности на искусственном сооружении	11
	отличие расчетных напряжений в местах появления дефектов	4

Для определения поправочных коэффициентов к уравнению надежности общий период наблюдений появления дефекта (или группы дефектов) делится на два последовательных периода обследований сооружений равной продолжительности. Обработка данных каждого периода обследований с целью определения данных для решения уравнений надежности производится отдельно. В результате определяется интенсивность переходов в разные состояния работоспособности раннего (среднее время от начала обследований $0,25t_d$) λ_{ij}^I и позднего λ_{ij}^{II} (среднее время от начала обследований $0,75t_d$) этапов эксплуатации сооружения.

Определяются коэффициенты a_{ij} и b_{ij} согласно выражениям, которые закладываются в качестве параметров интенсивностей переходов λ_{ij} между состояниями сооружения в систему дифференциальных уравнений при ее решении:

$$a_{ij} = \lambda_{ij}^I - 0,25t_d \frac{\lambda_{ij}^{II} - \lambda_{ij}^I}{0,5t_d},$$

$$b_{ij} = \frac{\lambda_{ij}^{II} - \lambda_{ij}^I}{0,5t_d}.$$

Многовариантный расчет показателей надежности и экономической целесообразности эксплуатации железобетонных мостов является инструментом обоснованного выбора структуры и периодичности работ по их текущему содержанию.

Основными целями проведения расчета являются:

- оценка влияния дефектов и повреждений на показатели надежности железобетонных пролетных строений мостов и экономическую целесообразность их эксплуатации;
- выявление дефектов и повреждений, не влияющих на экономическую эффективность эксплуатации железобетонных мостов для принятия решений по их ремонту;
- выбор оптимальной, с экономической точки зрения, периодичности ремонта дефектов и повреждений, выбранных для корректирования периодичности проведения работ по их устранению.

В результате проведения расчета по данной методике, с учетом применения различных способов получения оптимальной оценки объема и структуры работ по текущему содержанию сооружения, может быть принято к рассмотрению несколько вариантов системы текущего содержания искусственного сооружения.

Варианты текущего содержания искусственного сооружения могут появиться благодаря следующим стратегиям оптимизации:

- изменение объема наиболее дорогостоящей операции с целью снижения стоимости работ по текущему содержанию искусственного сооружения;
- изменение объема наиболее массово выполняемой операции при текущем содержании искусственного сооружения;
- изменение структуры работ по текущему содержанию с целью достижения оптимальной надежности эксплуатируемого искусственного сооружения.

Критерии получения оптимального решения могут быть противоположными (так, например, повышение показателей надежности искусственных сооружений и снижение затрат на их содержание).

Целью оптимизации, в зависимости от конкретных условий эксплуатации искусственного сооружения, может быть:

- обеспечение наибольшего возможного уровня показателей надежности искусственных сооружений в условиях ограничения финансирования работ по их текущему содержанию;
- изменение структуры работ по текущему содержанию искусственных сооружений с сохранением, по возможности, показателей их надежности;
- снижение трудозатрат на проведение работ по текущему содержанию искусственных сооружений с сохранением, по возможности, показателей их надежности;
- снижение объема финансирования работ по текущему содержанию искусственных сооружений с сохранением, по возможности, показателей их надежности;
- обеспечение наибольшего возможного уровня показателей надежности искусственных сооружений в конкретных условиях их эксплуатации.

Далее на рисунке приведен алгоритм проведения многовариантного расчета показателей надежности и эффективности эксплуатации основных элементов искусственных сооружений.

В зависимости от цели проведения расчета в качестве объектов изменения регламентов ремонтных работ могут быть выбраны:

- группа дефектов, устранение которых связано с наибольшими финансовыми затратами;
- все группы дефектов для получения рационального распределения финансирования работ по их устранению;
- группа дефектов, устранение которых связано с наибольшим привлечением ремонтных рабочих и иного персонала;
- группы дефектов, которые по опыту эксплуатации слабо влияют на надежность сооружения;
- группы дефектов, наиболее влияющие на надежность сооружения.

При выполнении многовариантного расчета, в зависимости от цели его выполнения, могут быть использованы два основных способа достижения максимума критерия экономической целесообразности, а именно:

- варьирование единственного параметра – периода устранения дефектов пролетного строе-

ния единственной группы, выбранной для оптимизации (упрощенная оптимизация);

- одновременное варьирование группы параметров – периодов устранения дефектов групп, выбранных для оптимизации, или всех групп дефектов пролетного строения (полная оптимизация).

При упрощенной оптимизации одного параметра путем непосредственного подбора производят следующие действия:

- выбирают границы варьирования выбранного параметра устранения дефектов выбранной группы $t_{0\min}, t_{0\max}$;
- задаются шагом расчета

$$\Delta t_0 = (t_{0\max} - t_{0\min}) / 10;$$

- выполняют расчет по составлению и решению дифференциальных уравнений при задании времени устранения дефектов

$$t_{0y} = i \Delta t_0, \quad i = 0, 10;$$

- выбирают участок $t_{\min}^I, t_{\max}^I$, на котором критерий экономической эффективности ΔC достигает максимального значения, задаются шагом расчета

$$\Delta t^I = (t_{\max}^I - t_{\min}^I) / 10;$$

При упрощенной оптимизации одного параметра производят следующие действия:

- выбирают границы варьирования параметров устранения дефектов выбранной группы $t_{\min}, t_{\max}$, период устранения которой подлежит оптимизации;
- каждое последующее значение времени устранения дефектов выбранной группы определяется по предыдущему его значению согласно выражению метода Ньютона [3], преобразованного с учетом того, что необходимо определить минимум функции $1/\Delta c$, обратной показателю экономической целесообразности

$$T_{j+1} = T_j - \frac{T_j - T_{j-1}}{1 - \frac{\Delta c_j}{\Delta c_{j-1}}},$$

где T_{j+1}, T_j, T_{j-1} – соответственно новые значения времени устранения дефектов выбранной группы, время устранения дефектов на текущем шаге расчета и время устранения дефектов на предыдущем шаге расчета; $\Delta c_j, \Delta c_{j-1}$ – значения функции экономической целесообразности на текущем j шаге расчета и на прошлом $j-1$ шаге расчета.

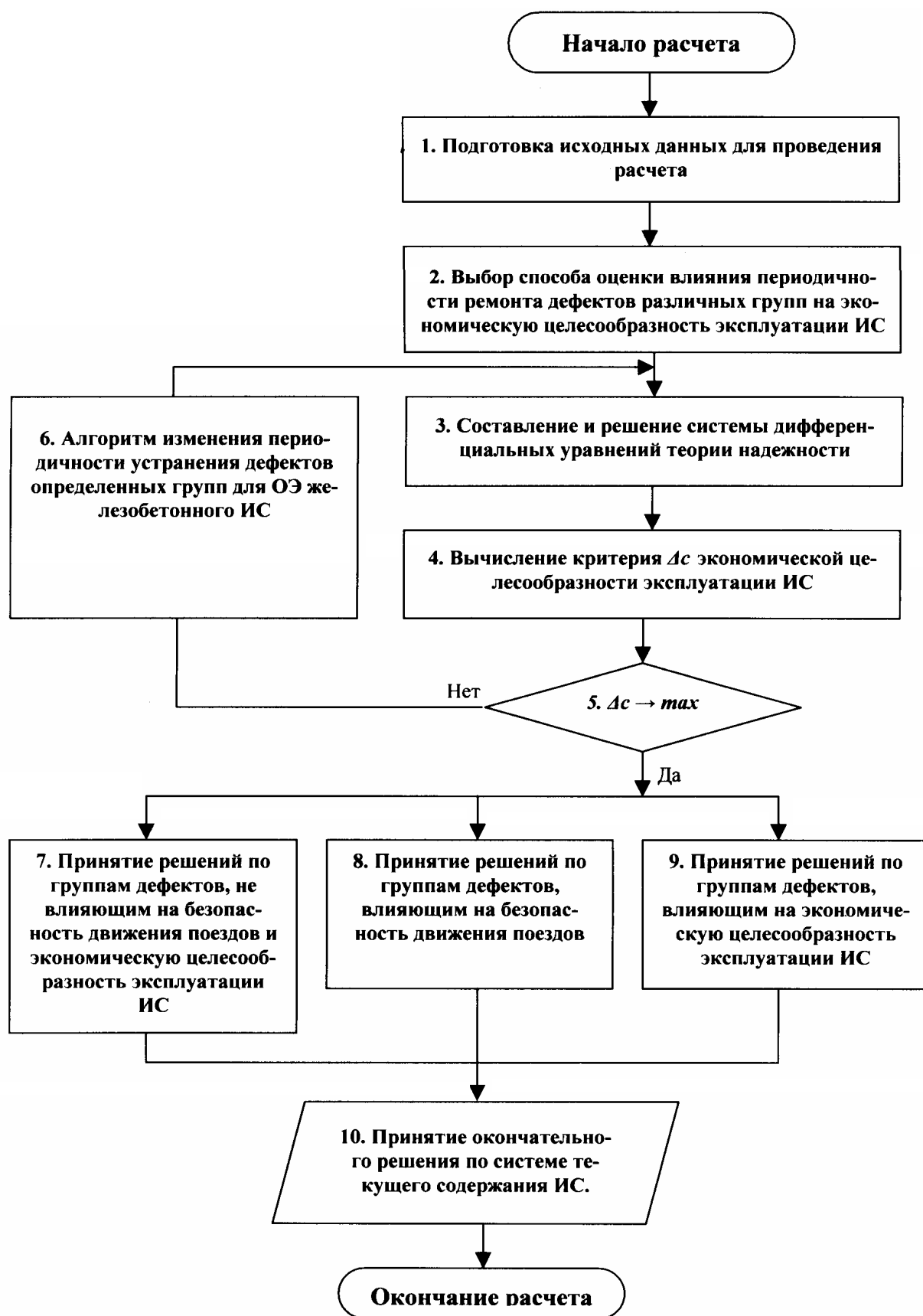


Рис. Алгоритм многовариантного расчета показателей надежности и эффективности эксплуатации основных элементов искусственных сооружений

При многопараметрической оптимизации системы параметров (поиск оптимальной надежности сооружения в результате смены объема и периодичности работы по его текущему содержанию) производят следующие действия:

- выбирают границы варьирования параметров устранения дефектов выбранных групп $t_{i\min}$, $t_{i\max}$, где $i=1, k$ – количество параметров (групп дефектов), период устранения которых подлежит оптимизации;

- каждый последующий вектор времен устранения дефектов определяется по предыдущему его значению согласно (предпочтительно) выражению метода Пауэлла [3];

- ввиду особой сложности расчета и большого объема вычислений, его выполнение должно осуществляться с использованием специальной компьютерной программы, реализующей указанные в методике методы и способы расчета.

Предложенная методика позволяет задавать различные исходные данные:

- варьировать время устранения дефектов для различных групп дефектов с учетом приближения их к реальным условиям эксплуатации;

- задавать различное время для получения прогноза состояний моста в процессе эксплуатации;

- комбинировать различные группы дефектов для получения их самого невыгодного сочетания, планируя проведение ремонтов.

На основании изложенных выше основных положений можно сделать вывод, что предлагаемая методика позволяет создать условия для разработки норм проведения текущего содержания сооружений по их состоянию, что, в конечном итоге, будет способствовать установлению обоснованных индивидуальных для искусственных сооружений норм на обеспечение их наиболее эффективного функционирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В. 2.3-6-2002. Мости та труби. Обстеження і випробовування. – на заміну СНіП 3.06.07-86 – Введ. в дію 01.10.2002 р. – К.: Держ. ком. України з будівн. та архітектури, 2002. – 26 с.
2. Козлов Б. А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры, радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М.: Советское радио, 1975. – 472 с.
3. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – М: Мир, 1986. – 349 с.

Поступила в редколлегию 06.05.04.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СТРУКТУРЫ ИХ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ

Викладено основні положення запропонованої методики оцінки обсягу і структури поточного утримання залізобетонних прогонових будов мостів за їх станом, розробленої на основі методів теорії надійності і математичної статистики. В методиці передбачається, що планування необхідних ремонтів і заміन прогонових будов мостів виконується на основі аналізу стану споруд в заданий період часу і їх поведінки протягом усього строку експлуатації, шляхом мінімізації витрат на проведення ремонтних робіт чи замінів. В результаті визначається доцільність подальшої експлуатації споруд за умови, що витрати на ремонти не перевищують доходів від їх експлуатації.

Изложены основные положения предложенной методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов по их состоянию, разработанной с применением методов теории надежности и математической статистики. Методика предполагает, что планирование необходимых ремонтов и замен пролетных строений мостов выполняется на основе анализа состояния сооружения в заданный период времени и поведения сооружения на протяжении всего периода его эксплуатации, путем минимизации затрат на проведение ремонтных работ или замен. Определяется целесообразность дальнейшей эксплуатации сооружений при условии, что затраты на ремонты не превышают доходов от эксплуатации.

The article enlists fundamentals of the proposed method of estimating the volume and structure of current maintenance of reinforced concrete spans of bridges, according to their current state, developed with the use of methods of reliability theory and mathematical statistics. The method stipulates that the planning of obligatory repairs and changes of the span structures on the bridge is carried out on the basis of an analysis of the state of the facility in a certain period of time and its behavior during all of the service life, by way of minimization of the costs of the repair works or changes. Expediency of further operation of the facility is determined, provided that the costs of its repair do not exceed the incomes from its operation.

В настоящее время вопросы повышения надежности эксплуатируемых сооружений и уменьшение затрат на их текущее содержание являются важными и интересуют не только службы, которые непосредственно занимаются эксплуатацией и содержанием сооружений, но и научных работников в области строительных конструкций и мостостроения. Сегодня безусловным является применение вероятностных методов при оценке технического состояния эксплуатируемых сооружений и прогнозирования их дальнейшей эксплуатации. На основе этих методов разрабатываются положения и строительные нормы оценки технического состояния сооружений, нормируются показатели надежности и долговечности как для проектируемых сооружений, так и для эксплуатируемых.

В лаборатории искусственных сооружений Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна в результате научных исследований разработана методика оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных про-

летных строений мостов по их состоянию. Основной целью расчета по разработанной методике является планирование необходимых ремонтов и замен пролетных строений мостов на основе анализа состояния сооружения в заданный период времени и поведения сооружения на протяжении всего срока его эксплуатации, путем минимизации затрат на проведение ремонтных работ или замен. В результате чего определяется целесообразность дальнейшей эксплуатации сооружения при условии, что затраты на его ремонты не превышают доходов от его эксплуатации.

Предлагаемая методика разработана на основе положений теории надежности, численных методов прикладной математики и нормативно-технической документации, касающейся текущего содержания пролетных строений мостов.

Блок-схема методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов по их состоянию приведена на рисунке.

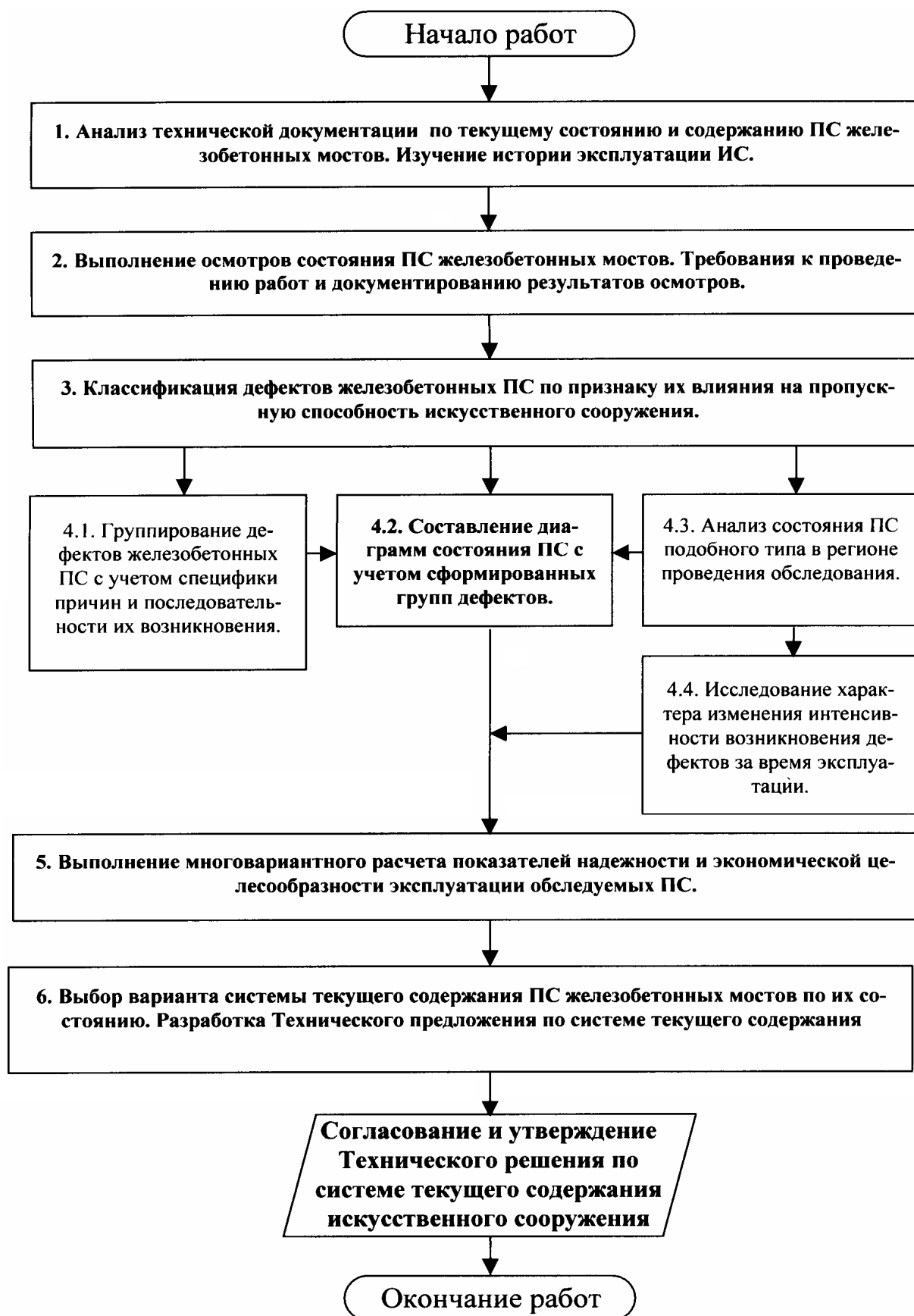


Рис. Блок-схема проведения работ по оценке объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов по их состоянию

Одним из серьезных ограничений использования теории выносливости является её зависимость от объема и достоверности исходных данных. В соответствии с этим, помимо этапов основного цикла работ (отмеченных жирным шрифтом на блок-схеме) предусмотрены дополнительные работы, направленные на возможное повышение достоверности получаемых с использованием методики оценок. Соответствующие этапы работ отмечены обычным шрифтом – этапы работ № 4.1, 4.3, 4.4.

Действие методики распространяется на основные элементы железобетонных пролетных строений.

При оценке объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов используются следующие исходные данные, характеризующие состояние их основных элементов:

- анализ эксплуатационной документации (периодичность появления и устранения дефектов на пролетном строении моста);
- оценка степени влияния дефектов железобетонных пролетных строений на пропускную способность искусственного сооружения;
- история сооружения с указанием возможных аварийных и иных ситуаций, влияющих на долговечность основных элементов искусственных сооружений.

Оценки целесообразных характеристик выполнения работ по текущему содержанию пролетных строений железобетонных железнодорожных мостов, полученные с применением данной типовой методики, могут служить основанием для назначения их периода, объемов и структуры.

В предлагаемой методике рассматриваются дефекты пролетных строений мостов, возникновение которых не связано с физико-механическими и химическими процессами в процессе длительной эксплуатации, например, усталостные разрушения. Данное ограничение связано с основными принципами теории надежности и невозможностью сбора представительной статистики данного типа для отдельных регионов эксплуатации мостов и отдельных искусственных сооружений.

Положения и основные расчетные экономические соотношения предлагаемой методики могут быть распространены на дефекты, приводящие сооружение к предельному состоянию. При этом они должны быть объединены с расчетными соотношениями утвержденных методик оценки сроков возникновения таких дефектов при эксплуатации искусственного сооружения.

Основной особенностью искусственных сооружений, в частности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, является то, что они, подобно большей части инфраструктуры железной дороги не приносят прибыли в денежном исчислении непосредственно. Выделение доли прибыли, получаемой благодаря наличию и работоспособному состоянию мостов, является весьма сложной задачей.

Неудовлетворительное состояние искусственных сооружений может вызывать снижение общей прибыли от процесса перевозок, связанное со следующими обстоятельствами:

- потери на уменьшение и последующий набор скорости, связанные с ограничением скорости движения поездов по искусственному сооружению;
- потери, связанные с ограничением грузоподъемности искусственного сооружения и недоиспользованием пассажиро- и грузопропускной способности направления;
- потери, связанные с обходным движением поездов, минуя неработоспособное искусственное сооружение.

Трактуя уменьшение потерь от неработоспособного (ограниченно работоспособного) состояния как условную прибыль, для существующего и действующего искусственного сооружения (без учета капитальных вложений на его постройку) можно предложить следующий подход к оценке экономической эффективности его эксплуатации: расходы на приведение искусственного сооружения в работоспособное состояние не должны превышать уменьшение потерь прибыли от перевозочного процесса, связанных с его неработоспособностью или ограниченной работоспособностью.

Условием наибольшей экономической целесообразности эксплуатации существующего и действующего сооружения будет

$$\Delta c = c_{\text{п}} - c_{\text{в}} \rightarrow \max ,$$

где Δc – удельный показатель эффективности; $c_{\text{п}}$ – удельные (на принятую единицу времени) возможные потери из-за ограничения работоспособности сооружения; $c_{\text{в}}$ – удельные (на единицу времени) затраты на ремонт или текущее содержание дефектного сооружения.

Максимально эффективным текущее содержание искусственного сооружения является в случае выполнения соотношения

$$\Delta c \geq 0; \quad |\Delta c| \rightarrow \max .$$

При положительном балансе возможных потерь и затрат на устранение их причин, абсолют-

ная величина удельного показателя эффективности текущего содержания должна быть максимальной, что обеспечивается назначением оптимального объема и структуры работ по текущему содержанию искусственного сооружения.

К категории постоянно убыточных относятся искусственные сооружения у которых расходы на поддержание работоспособного состояния не покрываются условной прибылью от эксплуатации. В этом случае выполняется неравенство

$$\Delta c < 0; \quad |\Delta c| \rightarrow \min,$$

при этом в случае принятия решения об эксплуатации искусственного сооружения система его текущего содержания должна обеспечивать минимальную абсолютную величину отрицательного баланса возможных потерь и затрат на их устранение.

Критерием целесообразности замены элементов искусственного сооружения является выражение

$$\Delta c = c_n - \sum_{i=1}^n \frac{C_{zi}}{T_{при}} \geq 0,$$

где c_n – удельные (на принятую единицу времени) возможные потери от неработоспособного или ограниченной работоспособности сооружения; n – количество элементов сооружения, подлежащих ремонту или замене при производстве ремонта; C_{zi} – стоимость замены i -го элемента конструкции искусственного сооружения, включая стоимость производства работ и стоимость элемента (в случае его замены); $T_{при}$ – назначенный срок службы i -го элемента конструкции сооружения.

Критерием целесообразности в случае частичной замены основных элементов искусственного сооружения является уравнение

$$\Delta c = c_n - c_b - \sum_{i=1}^n \frac{C_{zi}}{T_{при}} \geq 0,$$

где c_b – удельные затраты на восстановление работоспособного состояния сооружения для всех его элементов, в том числе, новых.

Ограничение работоспособности искусственного сооружения приводит к снижению скорости движения по нему пассажирского и грузового подвижного состава. Тем самым уменьшается его пропускная способность, что приводит к экономическим потерям.

На основании [1] потери от ограничения скорости движения по искусственным соору-

жениям сводятся, в основном, к убытку от дополнительного расхода энергии на торможение состава с последующим набором тяги. Данные потери могут быть сведены к минимуму при активном использовании рекуперативного торможения.

Потери от ограничения скорости движения подвижного состава по искусственным сооружениям, с учетом оценок работы [1], оцениваются по формуле

$$c_n = \sum_{i=1}^{n_v} x_{огр.i} \left[\frac{N_{огр.i} \cdot \Delta t_i \cdot C_{пч} + (1 - K_{рт}) \times \frac{3,8(P + Q_{бр})}{10^6} (\vartheta_{уч1}^2 - \vartheta_{уч2i}^2) \times a_T \cdot e_T}{10^6} \right],$$

где n_v – количество градаций ограничений скорости движения по искусственному сооружению; $x_{огр.i}$ – вероятность нахождения сооружения в состоянии ограничения скорости движения $\vartheta_{уч2i}^2$; $K_{рт} = N_{рт}/N_o$ – коэффициент использования рекуперативного торможения при отсутствии надежных данных принимается равным нулю $K_{рт} = 0$; $N_{рт}$ – количество поездов, использующих рекуперативное торможение при проходе сооружения за выбранный промежуток времени (предпочтительно сутки); N_o – общее число поездов, проходящих сооружение за выбранный промежуток времени; $N_{огр.i}$ – число поездов на участке за период действия предупреждения; Δt_i – изменение времени хода поезда по участку, ч; $C_{пч}$ – стоимость простоя поезда в течении 1 ч; P – масса локомотива, брутто, т; $Q_{бр}$ – масса поезда брутто, т; $\vartheta_{уч1}$, $\vartheta_{уч2i}$ – участковые скорости, установленные соответственно на перегоне и в период действия предупреждения в i -й градации ограничения скорости; a_T – удельный расход условного топлива для перевозки 1 млн т груза, т.; e_T – стоимость 1 т условного топлива, грн.

Неработоспособность искусственного сооружения приводит к необходимости использования альтернативных путей и способов направления пассажиро- и грузопотока. Это приводит к экономическим потерям за счет удлинения маршрутов или перегрузки грузов при использовании альтернативных видов транспорта.

Потери от неработоспособного состояния искусственного сооружения, с учетом данных работы [1], оцениваются по формуле

$$c_n = x_{np} \left[N_{cp} \cdot \Delta t \cdot C_{пч} + \frac{3,8(P+Q_{бр})}{10^6} \times \right. \\ \left. \times \left(\left(\frac{L_{уч1}}{t_{уч1}} \right)^2 - \left(\frac{L_{уч1}}{t_{уч2}} \right)^2 \right) a_T \cdot e_T \right],$$

где x_{np} – вероятность нахождения искусственного сооружения в неработоспособном состоянии; N_{cp} – среднее число поездов на участке при работоспособном состоянии сооружения; $L_{уч1}$ – длина участка, измеренная от узловых станций обходного маршрута; $t_{уч1}$ – время в пути при движении по маршруту, включающему неработоспособное сооружение; $t_{уч2}$ – время в пути при движении по обходному маршруту.

Затраты, связанные с единовременным усилением пролетных строений и их дальнейшей эксплуатацией, определяются по формуле, разработанной на основе выражения в [2], применяемого при оценке технико-экономической эффективности производства работ по реконструкции металлических железнодорожных мостов

$$c_b^I = \left[K_0^Y + \sum_1^t \frac{C_t}{(1+E_{нп})^t} \right] k_{np},$$

где K_0^Y – единовременные затраты на усиление пролетного строения; t – период в годах с момента производства усиления, ограничивающий суммирование затрат; C_t – ежегодные эксплуатационные расходы, включающие амортизационные отчисления и нормативные затраты по текущему содержанию усиленного или нового пролетного строения; $E_{нп}$ – норматив для приведения разновременных затрат, принимаемый в размере 0,08 [2]; k_{np} – количество пролетных строений, на которых произведено единовременное усиление (ремонт, замена).

В случае, когда на искусственном сооружении выполнялась неоднократная реконструкция пролетных строений, общая затратная часть восстановления его работоспособности определяется как сумма затрат на производство каждого усиления или реконструкции

$$c_b^I = \sum_{i=1}^{k_p} c_{bi}^I,$$

где k_p – количество реконструкций (ремонтов, усилений) пролетного строения; c_{bi}^I – затраты, связанные с проведением i -й реконструкции.

Затраты, связанные с заменой пролетных строений и их дальнейшей эксплуатацией, определяются по формуле, применяемой при оценке технико-экономической эффективности производства работ по реконструкции металлических железнодорожных мостов [2]

$$c_b^{II} = \left[K_0^C + \sum_1^t \frac{C_t}{(1+E_{нп})^t} \right] k_{np},$$

где K_0^C – единовременные затраты на замену пролетного строения; t – период в годах с момента производства замены пролетного строения, ограничивающий суммирование затрат.

В случае, когда на сооружении выполнялась неоднократная замена пролетных строений, общая затратная часть восстановления его работоспособности определяется как сумма затрат на производство каждого усиления или реконструкции

$$c_b^{II} = \sum_{i=1}^{k_p} c_{bi}^{II},$$

где k_p – количество замен пролетных строений;

c_{bi}^{II} – затраты, связанные с проведением i -й замены пролетных строений.

На основе созданной в ДИИТе базы данных по дефектам железобетонных железнодорожных мостов, эксплуатируемых на Приднепровской железной дороге, определяются интенсивности отказов методами теории надежности [3], где дефекты и повреждения трактуются как отказы. Время появления дефекта, его обнаружения и устранения характеризуется как нахождение моста в дефектном состоянии.

Порядок определения интенсивности отказов следующий:

- на основе базы данных о дефектах железобетонных железнодорожных мостов составляются временные диаграммы состояний сооружений. В диаграммах отображается изменение состояний мостов и переход из состояния в состояние при различных сроках устранения выявленных дефектов;

- подсчитываются интенсивности отказов по формуле

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{t_{ij,cp}},$$

и строятся графы перехода сооружений из состояния в состояние;

- на основе графов составляются дифференциальные уравнения следующего типа:

$$\frac{dx_j}{dt} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} x_i,$$

где $j = 1, n$;

– уравнения решаются путем интегрирования на ЭВМ.

– определяются вероятности бездефектного состояния и состояния дефектности при комбинации различных групп дефектов и для каждой группы дефектов отдельно.

– строятся и анализируются графики вероятности нахождения мостов в состоянии дефектности и бездефектном состоянии.

На основе изложенных выше основных положений предложенной методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов по их состоянию можно сделать вывод, что учет влияния дефектов и повреждений при эксплуатационной оценке состояния железобетонных мостов позволит планировать проведение ремонтов по устранению разных групп дефектов в разные сроки с прогнозом на весь период жизненного цикла моста. Такой подход позволит значительно сэкономить средства на ремонты и даст возможность продлить срок эксплуатации сооружений. Применение вероятно-

стного расчета надежности и долговечности эксплуатируемых железобетонных мостов с учетом дефектов и повреждений, наряду с традиционными расчетами по определению грузоподъемности мостов, позволит получить более полную картину технического состояния сооружения в момент обследования, сделать соответствующие выводы и разработать рекомендации по его дальнейшей эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шульга В. Я. Экономика путевого хозяйства: Учебник для ВУЗов железнодорожного транспорта / В. Я. Шульга, В. И. Анелейко, А. Л. Комаров и др. – М: Транспорт, 1988. – 303 с.
2. Указания по определению экономической эффективности работ по капитальному ремонту искусственных сооружений. Л: МПС – ЛИИЖТ, 1977. – 77 с.
3. Борщов В. И. Анализ методом теории надежности дефектов и вероятности их появления в эксплуатируемых железобетонных пролетных строениях железнодорожных мостов / В. И. Борщов, А. И. Паламаренко, В. И. Соломка, О. П. Вышкварок // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2000. – № 59. – С. 12–21.

Поступила в редколлегию 06.05.04.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МОСТОВЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ, ОПОРЫ КОТОРЫХ ПОДВЕРЖЕНЫ НЕРАВНОМЕРНЫМ ОСАДКАМ И КРЕНАМ

Наведені випадки значних нерівномірних осадок і кренів опор шляхопроводів, відзначені загальні причини і закономірності в їхній появі і розвитку. Вказані заходи щодо ліквідації аварійності споруд і підвищення їхньої експлуатаційної надійності. Надані рекомендації з організації довгострокових спостережень за такими об'єктами.

Приведены случаи значительных неравномерных осадок и кренов опор путепроводов, отмечены общие причины и закономерности в их появлении и развитии. Указаны меры по ликвидации аварийности сооружений и повышению их эксплуатационной надёжности. Даны рекомендации по организации долговременных наблюдений за такими объектами.

The article provides examples of non-uniform settlements and heels of flyover supports, exposed to a considerable extent, and enlists the common causes and regularities in their appearance and development. The measures on liquidation of an accident rate of facilities and increase of their operational reliability are indicated. Recommendations are given of how to organize long-term observation of such objects.

В своей многолетней практике обследования железнодорожных и автодорожных мостов и путепроводов сотрудники научно-исследовательской лаборатории искусственных сооружений Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна неоднократно сталкивались с такими крайне негативными явлениями, как значительные неравномерные осадки и крены опор мостовых сооружений.

Бороться с такими явлениями достаточно сложно, а последствия их весьма серьезны: от расстройств в деформационных швах и нарушения профиля проезда до вывала опорных частей и реальной угрозы обрушения пролётных строений. Обусловленные различными факторами осадки и крены опор мостов могут протекать крайне неравномерно на протяжении многих лет и десятилетий, приводя к взаимным смещениям элементов в сооружениях до 0,5 м и более.

Выявление причин, характера и темпов протекания осадок и кренов опор – основная задача инженера-обследователя, решение которой позволяет правильно оценить реальную ситуацию и своевременно принять технические и организационные меры, для поддержания сооружения в работоспособном состоянии, а при необходимости наметить пути и сроки рационального усиления фундаментов опор, реконструкции сооружения или его замены. В этом плане показателен опыт эксплуатации и долговременных наблюдений за пятью путепроводами в Днепропетровской области (три сооружения в г. Никополе и два в г. Днепродзержинске), опо-

ры которых оказались подверженными неравномерным осадкам и кренам.

В таблице приведены основные сведения по этим путепроводам. Здесь же дана хронология появления и развития осадок и кренов, а также основных мер, предпринятых для поддержания сооружений в работоспособном состоянии, их реконструкции или замене. Кроме того, в таблицу помещены численные значения некоторых величин, характеризующих наблюдавшиеся взаимные смещения конструктивных элементов.

При всей пестроте данных в таблице четко прослеживается то общее, что присуще всем без исключения сооружениям. Это прежде всего:

- 1) тип фундамента опор – опоры мелкого заложения на естественном основании;
- 2) грунты основания – лессовидные суглинки и супеси, обладающие просадочными свойствами;
- 3) относительно высокие подходные насыпи – высота насыпей у устоев 7,7...10,7 м;
- 4) характер общих деформаций сооружений – осадки и наклоны устоев, а в некоторых случаях и ближайших к устоям промежуточных опор, в сторону насыпей со значительным увеличением зазоров между торцами пролётных строений;
- 5) наличие факторов, провоцирующих обводнение грунтов в основании опор, – общий подъем уровня грунтовых вод в городах Никополе и Днепродзержинске; расположение вблизи сооружений водопропускных труб, лотков, коллекторов; неупорядоченный отвод ливневых и талых вод с проезжей части мостов, от их опор и подходных насыпей.

Основные сведения по дефектным сооружениям

Название, схема и габарит сооружения	Проектная организация, расчетные нагрузки, нормы, год постройки	Тип опор, фундаментов, грунтов в основании. Высота насыпи	Хронология проявления осадок и кренов опор, их величина. Принятые меры
Автодорожный железобетонный путепровод по ул. Электрометаллургов в г. Никополе 14,06 + 2 · 32,96 + +14,06 $G - 14 + 2 \cdot 2,25$	Харьковское отделение «Промстройпроект» Н-18 и НК-80 ПиУ-48 г. 1963 г.	Столбчатые двухрядные со сборномонолитными фундаментами мелкого заложения на лессовых просадочных грунтах, насыпи высотой 7,7 и 10,7 м	1966 г. – просадки устоя, конец пролета поднят на нем на 120...300 мм. Утечки из водопропускной трубы. 1988 г. – резкое раскрытие зазора на опоре № 2. Установлена страховочная опора. Значительный наклон валковых опорных частей. Объединение их единой рамкой-обоймой. Начаты систематические наблюдения за деформациями. Февраль 2000 г. – закрыто движение грузового транспорта. Январь 2001 г. – зазор на опоре № 2 достиг 522 мм и увеличился за год на 12 мм. Путепровод реконструируют. Усилены фундаменты опор, переложены балки п. с. 1–2 2002 г. – движение открыто
Автодорожный железобетонный путепровод в г. Никополе на км 229 + 104 а/д Кировоград–Запорожье 22,16 + 32,9 + 22,16 $G - 10,5 + 2 \cdot 1,5$	Днепропетровское отделение «Укрпрогдортранс» Н-30 и НК-80 СН-200-62 1969 г.	Столбчатые однорядные по проекту № 331 с фундаментами стаканного типа мелкого заложения в просадочных лессовых суглинках и супесях, высота насыпи 9,5 м	1992 г. – наклон устоя в сторону насыпи. Начаты наблюдения за осадками и кренами опор. Водопропускные трубы в насыпях в дефектном состоянии. Утечки из коллектора. Неупорядоченный водоотвод. 1995 г. – критическое опирание пролетного строения 2–3 на опору № 2. Вывал катков. Установлена временная страховочная опора из УИКМ. 1998 г. – деформации продолжают-ся. За 14 месяцев опоры осели на 13...40 мм. Путепровод закрывают на реконструкцию с полной заменой старого сооружения на новое, с опорами на свайных фундаментах. 1999 г. ноябрь – открыто движение
Автодорожный железобетонный путепровод на км 5 + 322 а/д Никополь–Первомайское 14,06 + 22,16 + 14,06 $G - 7 + 2 \cdot 1,5$	Н-30 и НК-80 СН-200-62 1967 г.	Столбчатые одно- и двухрядные с фундаментами мелкого заложения на лессовых просадочных грунтах, высота насыпи 8,4 м	1993 г. – первое упоминание о деформации. 1999 г. – большой наклон валковых опорных частей на опоре № 2. Установлена временная страховочная опора из УИКМ. Июль 2003 г. – аварийное состояние сооружения из-за неустойчивого опирания пролета 1–2 на опору № 2. Валки отклонены от вертикали на угол $> 45^\circ$. Зазор на опоре № 2 – 30 см. Осадки и крены устоев в сторону насыпей. Рекомендовано подклинить балки на страховочной опоре, ввести ограничение для движения транспорта, установить наблюдение за сооружением
Железнодорожный путепровод на ст. Баглей в г. Днепро-дзержинске 23,6 + 18,7 + 23,5 + +12,8	Харьковское отделение «Промтранс-проект» Н-7 1952 г.	Массивные необсыпные устои и опоры из бутобетона на монолитных ступенчатых фундаментах в лессовых грунтах, высота насыпи 8,2 и 10,7 м	1953 г. – осадки и крены устоев в сторону насыпей. Начаты наблюдения. 1961 г. – смещение оголовка устоя № 5 из пролета достигло 110 мм. Насыпи садятся на 10...20 см в год, продолжается подъем уровня грунтовых вод. 1991–1995 гг. – наращивание стенок устоев. Замена всех пролетных строений и подферменных камней. Грунтовая вода в 1,5 м от поверхности. 2003 г. – наклоны устоев продолжают-ся. Расстояние и между шкафовыми стенками устоев увеличились за 50 лет на 74 см
Автодорожный железобетонный путепровод на ул. Октябрьской в г. Днепро-дзержинске 33,00 + 12,00 $G - 16,5 + 2 \cdot 1,5$	г. Харьков «Коммунистический проект» Н-30 и НК-80 СН-200-62 1989 г.	Устои-стенки, опора № 2 столбчатая однорядная на фундаментах мелкого заложения в просадочных суглинках и супесях, высота насыпи 9 м.	1991 г. – движение закрыто в связи с деформациями оснований опор. Подъем уровня грунтовых вод 1997 г. Крен устоя № 1 в сторону насыпи. Раскрытие зазора до 40 см. Проведено усиление фундаментов всех опор буроинъекционными сваями. Деформации остановлены 1999 г. – пролет 1–2 «удлинен» при помощи стальных балочек-консольей. Открыто движение всех видов транспорта

Картина наблюдаемых деформаций в сооружениях выглядит так. Под действием вертикального давления грунта высоких насыпей в основании (особенно при их переувлажнении) дают осадки. Осадки эти не одинаковы: у основания конусов они меньше, а у задних граней устоев больше. Устои же в расчете на восприятие горизонтального давления насыпей проектируются с асимметричным относительно равнодействующей всех вертикальных сил развитием площади опирания фундамента в сторону пролета. В фундаментах мелкого заложения это приводит к тому, что в пределах длины фундамента устоя (а она составляет у автодорожных путепроводов 5...8 м, а у железнодорожного 12...14 м) осадки по подошве заметно разнятся. Это ведет к тому, что устои «заваливаются» в сторону насыпи. Примерно то же может иметь место и у расположенных в непосредственной близости к основаниям конусов насыпей промежуточных опор. Однако здесь размер фундаментов вдоль сооружений заметно меньше, чем у устоев, а значит, и менее заметна разница в осадках по подошве фундамента и соответственно меньший крен получает опора. Устои тянут за собой опирающиеся на них пролетные строения, из-за чего на соседних опорах наблюдается значительное увеличение (раскрытие) деформационного зазора, критический наклон валковых опорных частей или вывал катков со всеми вытекающими из этого негативными последствиями, угрожающими целостности сооружения. Требуется установка страховочных опор и принятие других мер, по предотвращению обрушения пролетных строений. Как правило, вводят различные ограничения по массе и скорости движения транспорта, уменьшают число полос движения на автодорожных мостах вплоть до полного закрытия движения.

Все вышеперечисленное позволяет говорить о системной ошибке проектировщиков и строителей этих сооружений. На лессовых просадочных грунтах нельзя проектировать и строить мосты и путепроводы на фундаментах мелкого заложения. Следует всегда учитывать возможность обводнения, вплоть до полного водонасыщения, всей грунтовой толщи в основании фундаментов опор, а также существенно меняющиеся в худшую сторону показатели расчетных сопротивлений и деформативности грунтов лессовой группы. Такое положение, по нашему мнению, следовало записать в СНиП на проектирование мостов и труб.

За сооружениями, опоры которых подвержены неравномерным осадкам и кренам, сле-

дует как можно раньше устанавливать систематический долговременный контроль, включающий в себя:

6) нивелирование по специально заложенным в теле опор маркам. Размещение марок должно давать картину осадок и кренов каждой из мостовых опор в двух взаимно перпендикулярных направлениях;

7) измерение наклонов опор с помощью отвеса на базе не менее 3-5 метров по высоте;

8) в обязательном порядке измерение расстояния между торцами смежных пролетных строений на всех опорах. Для повышения надёжности измерений при организации длительных наблюдений следует установить маяки-марки, дающие возможность (при помощи штангенциркуля, линейки, рулетки или мерной проволоки) следить за раскрытием деформационных зазоров на опорах, а также изменением во времени общего расстояния между шкафными стенками устоев моста (по его левой и правой сторонам).

Обработка и анализ результатов проведенных таким образом наблюдений позволяют своевременно рекомендовать те или иные меры, направленные на поддержание сооружения в работоспособном состоянии и его оздоровление; выбрать пути и сроки реконструкции моста, усиления его опор или же, в крайнем случае, его полной замены.

Так, к настоящему времени один из путепроводов в г. Никополе полностью заменен новым сооружением на сваях, построенным на месте прежнего с сохранением его схемы и габаритных размеров. Ещё один путепровод реконструирован. Фундаменты опор этого сооружения были усилены буронабивными сваями, доведенными до скальных пород. Третий никопольский путепровод находится сейчас в ограниченно работоспособном состоянии. До последнего времени систематические наблюдения за осадками и кренами его опор не велись (упущение эксплуатирующей организации). На этом путепроводе установлена временная страховочная опора и введены ограничения скорости и массы транспортных средств.

Железнодорожный путепровод на подъездном пути к Баглейскому коксохимическому заводу эксплуатируется вот уже полвека без усиления фундаментов опор (при крайне слабых грунтах в их основании и непрекращающихся осадках). Однако за этот период уже дважды пришлось менять на нем пролетные строения из-за все увеличивающегося расстояния между устоями и ближайшими к ним опорами, а также наращивать стенки устоев и неоднократно исправлять профиль железнодо-

рожного пути. И если заменить железнодорожное металлическое пролетное строение на новое, более длинное, можно сравнительно быстро, то с автодорожными железобетонными пролетными строениями дело обстоит намного сложнее.

Оригинальное решение, позволившее сохранить 33-метровое автодорожное пролетное строение, обеспечив при этом его нормальное опирание на «заваленный» в сторону насыпи устой, реализовано на путепроводе по ул. Октябрьской в г. Днепродзержинске. Здесь под каждую из девяти главных балок были подведены металлические удлиняющие балочки-консоли. Эти балочки одним своим концом подвешивались к плите пролетного строения при помощи тяжей, а на втором конце своей нижней плоскостью опирались на подферменную площадку устоя. Таким образом главные балки пролетного строения при помощи дополнительной металлической конструкции удлинялись на необходимую величину [1]. Пятилетний положительный опыт эксплуатации «удлиненного» пролетного строения дает основание рекомендовать взять на вооружение такой способ «наращивания» главных балок.

В заключение ещё раз подчеркнем важность своевременной и правильной организации наблюдений за мостовыми сооружениями, опоры которых подвержены неравномерным осадкам

и кренам. Во избежание повторения ошибок, допущенных при проектировании путепроводов и мостов с фундаментами мелкого заложения, предлагаем.

1. Ввести в нормы на проектирование мостов прямой запрет на применение фундаментов мелкого заложения в просадочных грунтах, а в остальных случаях необходимость обязательного учета возможности изменений уровня обводненности грунтов основания вплоть до их полного водонасыщения.

2. Подбирать размеры фундаментов опор мостов и путепроводов таким образом, чтобы под действием лишь нормативных нагрузок от собственного веса конструкций, грунта засыпки и насыпей подходов (с учетом горизонтального давления последних) осадки по всей площади подошвы фундаментов опор оказывались одинаковыми.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борщов В. И. Обеспечение эксплуатационной надежности путепровода, построенного на просадочных грунтах / В. И. Борщов, В. Т. Гузченко, В. В. Заславский и др. // Будівництво: 36. наук. пр. ДІТу. – Д., 2001. – Вип. 9. – С. 99–103.

Поступила в редколлегию 05.05.2004.

ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЬ ПРОГІННИХ БУДОВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЖИМУ РУХУ ПОЇЗДІВ ПО МОСТАХ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ

Розглядається методика визначення класів за вантажопідйомністю металевих та залізобетонних прогонових будов залізничних мостів, що експлуатуються, і рухомого складу залізниць за дією на мости. На основі порівняння класів прогонових будов і рухомого складу встановлюється можливість та умови руху сучасного рухомого складу по мостах.

Рассматривается методика определения классов по грузоподъемности металлических и железобетонных пролетных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов и подвижного состава железных дорог по воздействию на мосты. На основании сравнения классов пролетных строений и подвижного состава устанавливается возможность и условия движения современного подвижного состава по мостам.

The paper examines a method of classifying metallic and reinforced concrete span structures of the operated railway bridges into carrying capacity and of the railway rolling stock into degree of the impact on bridges. On the basis of comparison of the classes of span structures and rolling stock, the possibility and conditions of running modern rolling stock on the bridges are determined.

На залізницях України експлуатуються мости різноманітних конструктивних форм, які збудовані в різний час за відповідними нормами розрахункових навантажень та характеристик міцності матеріалу прогонових будов, мають різні фізичний стан і вантажопідйомність.

Згідно з вимогами Правил технічної експлуатації залізниць України та інструкції [1] усі мости залізничної мережі класифікуються за вантажопідйомністю з метою визначення умов пропуску по них сучасних поїзних навантажень, включаючи важкі транспортери, консольні крани, та вирішення питань підсилення, ремонту або заміни споруд.

Розрахунок фактичної вантажопідйомності прогонових будов металевих мостів, що експлуатуються, методом класифікації проводиться у відповідності з вимогами галузевого стандарту України ГСТУ 32.6.03.111-2002 [2], розробленого в ГНДЛ штучних споруд ДІІТу (керівник – канд. техн. наук В. І. Борщов).

Розрахунок мостів, що експлуатуються, можна проводити аналогічно розрахунку нових мостів. Однак такий спосіб виявляється дуже трудомістким у зв'язку з тим, що при кожному підвищенні рухомих навантажень (при введенні в обертання нових більш важких локомотивів і вагонів) необ-

хідно було б виконувати всі розрахунки елементів прогонових будов на нове навантаження.

Сутність кількісної розрахункової оцінки вантажопідйомності прогонових будов методом класифікації полягає в тому, що для кожного робочого елемента конструкції з урахуванням його фізичного стану визначається величина максимального тимчасового вертикального рівномірно розподіленого навантаження k , дія якого є безпечною для даного елемента. Цю величину виражають в одиницях умовного еталонного поїзного навантаження, а число таких одиниць називають класом K елемента за вантажопідйомністю і визначають за формулою

$$K = \frac{k}{k_{et}(1 + \mu)}, \quad (1)$$

де k_{et} – нормативна інтенсивність еталонного навантаження, кН/м; $(1 + \mu)$ – динамічний коефіцієнт для еталонного навантаження.

Як еталонне навантаження використовується навантаження за розрахунковою схемою Н1 1931 р. (рис. 1).

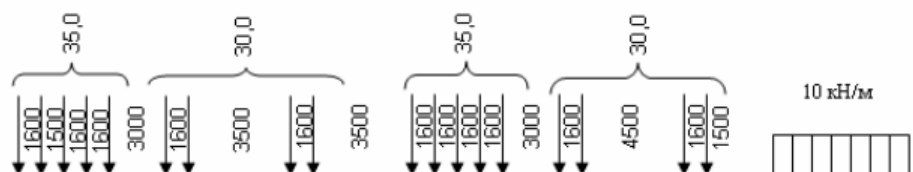


Рис. 1. Схема еталонного навантаження Н1 1931 р.

Величини еквівалентних навантажень для розрахункової схеми Н1 1931 р. в залежності від довжини лінії впливу λ і коефіцієнта α , що характеризує положення вершини лінії впливу (для перерізу на опорі $\alpha = 0$, для перерізу в середині прогону $\alpha = 0,5$), наведені в таблиці.

Таблиця

**Еквівалентні навантаження
для розрахункової схеми Н1 1931 р.,
кН/м колії (без динаміки)**

λ , м	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,5$	λ , м	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,5$
1	70,0	70,0	40	16,5	14,4
2	42,0	35,0	45	16,1	14,4
3	34,2	25,1	50	15,8	14,3
4	31,5	24,5	60	15,1	13,7
5	29,1	24,1	70	14,6	13,2
6	28,0	22,6	80	14,1	12,7
7	27,1	22,6	90	13,7	12,2
8	26,3	22,8	100	13,4	11,8
9	25,1	22,3	110	13,2	11,5
10	24,2	21,6	120	12,9	11,3
12	22,9	19,8	130	12,7	11,1
14	21,6	18,8	140	12,6	11,0
16	20,3	18,2	150	12,4	10,8
18	19,5	17,9	160	12,3	10,7
20	18,8	17,4	170	12,1	10,6
25	17,7	15,9	180	12,0	10,6
30	17,3	15,2	190	11,9	10,5
35	17,0	14,6	200	11,8	10,5

Допустиме вертикальне навантаження k визначається на основі розрахунків елемента на міцність, витривалість, стійкість (для стиснутих елементів), а також за міцністю стиків і прикріплень елементів. Величина допустимого навантаження k залежить від матеріалу конструкції (розрахункового опору металу), геометричних характеристик перерізу елемента (площі поперечного перерізу, моменту опору, кількості заклепок та болтів і т. ін.), характеру роботи елемента у складі прогонової будови, постійного навантаження, інших навантажень і умов роботи. Розрахунок вантажопідйомності прогонових будов мостів, що експлуатуються, як і розрахунки при проектуванні нових мостів, проводиться за граничними станами. Для металевих прогонових будов з головними балками із суціль-

ною стінкою та балок проїзної частини враховується основне сполучення навантажень, що включає постійне навантаження і тимчасове навантаження від рухомого складу.

Для окремих елементів прогонових будов з наскрізними головними фермами (портальних рам і поясів з прогонами 55 м і більше) проводяться також розрахунки у разі додаткового сполучення навантажень, до якого, крім навантажень основного сполучення, включається дія вітру та гальмування. Для мостів на кривих враховується центробіжна сила.

У розрахунках враховується зміщення осі колії від осі прогонової будови (у разі його наявності) і фактичне розподілення постійного навантаження між головними фермами та балками.

Вантажопідйомність головних балок прогонових будов з суцільними стінками і балок проїзної частини повинна визначатись на основі розрахунків:

- на міцність за нормальними напруженнями;
- на міцність за дотичними напруженнями;
- на міцність поясних заклепок (болтів) або поясних швів;
- на загальну стійкість балок;
- на місцеву стійкість стінки балок;
- на витривалість за нормальними напруженнями.

Для балок проїзної частини додатково проводиться розрахунок прикріплення поздовжніх балок до поперечних і поперечних балок до головних ферм.

Величина допустимого вертикального тимчасового навантаження k , кН/м колії, від рухомого складу при розрахунках на міцність за нормальними напруженнями визначається за формулою

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} (0,001 m R \chi W_0 - \varepsilon_p p \Omega_p), \quad (2)$$

де ε_v – частка тимчасового вертикального навантаження від рухомого складу на одну балку з урахуванням ексцентриситету; n_v – коефіцієнт надійності для вертикального навантаження від рухомого складу; Ω_v , Ω_p – площі лінії впливу згинального моменту, які завантажуються відповідно рухомим складом та постійним навантаженням, м²; 0,001 – коефіцієнт розмірності; m – коефіцієнт умов роботи; R – основний розрахунковий опір матеріалу балки, МПа; χ – поправочний коефіцієнт до розрахункового моменту опору; W_0 – розрахунковий момент опору поперечного перерізу балки, см³;

ε_p – частка постійного навантаження, яка припадає на одну балку; $p = \sum n_{pi} \cdot p_i$ – сумарна розрахункова інтенсивність постійних навантажень, кН/м колії, де p_i і n_{pi} – інтенсивність та коефіцієнт надійності кожного з постійних навантажень, що діють на балку.

Розрахунок за нормальними напругами проводиться для перерізів, в яких діє максимальний згинальний момент, змінюється величина перерізу або є дефекти, які впливають на вантажопідйомність балок.

При розрахунках балок за нормальним напруженням на витривалість враховується коефіцієнт зниження розрахункового опору металу і коефіцієнт зменшення динамічної дії тимчасового навантаження θ , а допустиме вертикальне тимчасове навантаження визначається за формулою

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v \theta \Omega_v} (0,001 \gamma_w m R W_0 - \varepsilon_p p' \Omega_p), \quad (3)$$

де $p' = \sum p_i$ – сумарна нормативна інтенсивність постійних навантажень, кН/м колії.

Коефіцієнти γ_w і θ приймаються за вказівками [2].

Допустиме вертикальне навантаження у розрахунках на міцність за дотичними напругами перевіряється для перерізу на опорі за формулою

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} \left(\frac{0,075 m R I_{br} \delta}{S_{br}} - \varepsilon_p p \Omega_p \right), \quad (4)$$

де Ω_v , Ω_p – площі ліній впливу поперечної сили, які завантажуються відповідно вертикальним тимчасовим навантаженням від рухомого складу і постійним навантаженням, м; I_{br} – момент інерції бруто поперечного перерізу балки відносно її нейтральної осі, см⁴; δ – товщина стінки балки, см; S_{br} – статичний момент бруто відсіченої частини поперечного перерізу балки, який розглядається відносно його нейтральної осі, см³.

Перевірка на загальну стійкість балки (стійкість стиснутого пояса) проводиться з визначенням допустимого навантаження за формулою

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} (0,001 \phi m R W_{br} - \varepsilon_p p \Omega_p), \quad (5)$$

де Ω_p , Ω_v – площі ліній впливу згинального моменту балки для перерізу стиснутого пояса

в середині вільної довжини, яка розглядається, м²; ϕ – коефіцієнт поздовжнього згину у залежності від умовної гнучкості поясу із площини балки $\lambda_0 = \frac{l_0}{r}$ та відносного ексцентриситета

$$i = 0 \quad (l_0 - \text{вільна довжина, см; } r = \sqrt{\frac{I_{br}}{F_{br}}} - \text{радіус інерції, см; } I_{br} - \text{момент інерції пояса із площини балки у поперечному перерізі в середині вільної довжини стиснутого поясу, см}^4; F_{br} - \text{площа бруто поперечного перерізу стиснутого пояса балки, см}^2); W_{br} - \text{момент опору бруто всього поперечного перерізу балки для її стиснутого волокна відносно горизонтальної осі, см}^3.$$

У галузевому стандарті ГСТУ 32.6.03.111-2002 наведені необхідні розрахункові формули для інших указаних вище перевірок.

Вантажопідйомність елементів наскрізних головних ферм обов'язково визначається у їх поперечних перерізах за міцністю і витривалістю. Для елементів ферм, які зазнають стиснення, необхідно визначати вантажопідйомність також за стійкістю. Для стиків і прикріплень елементів головних ферм вантажопідйомність визначається тільки розрахунками на міцність. Вузлові фасонки перевіряються на виколювання та продавлювання по найбільш небезпечних контурах.

Допустиме тимчасове навантаження, кН/м колії, для елементів наскрізних головних ферм у розрахунках на дію постійних навантажень і тимчасового вертикального навантаження від рухомого складу визначається за формулами:

- при розрахунках на міцність

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} (0,1 m R G - \varepsilon_p p \Omega_p); \quad (6)$$

- при розрахунках на витривалість

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v \theta \Omega_v} (0,1 m \gamma_w R G - \varepsilon_p p' \Omega_p); \quad (7)$$

- при розрахунках на стійкість

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} (0,1 m \phi R G \mp \varepsilon_p p \Omega_p). \quad (8)$$

При розрахунках із врахуванням сполучення вертикальних (постійного і тимчасового) і горизонтальних (від дії вітру і гальмування) навантажень допустиме тимчасове навантаження, кН/м колії, визначається за наступними формулами:

- при розрахунках на міцність

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \eta_v \Omega_v (1 + \xi_r)} \times \\ \times (0,1mRG - \varepsilon_p p \Omega_p - n_w \eta_w S_w); \quad (9)$$

- при розрахунках на стійкість

$$k = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \eta_v \Omega_v (1 + \xi_r)} \times \\ \times (0,1m\varphi RG \mp \varepsilon_p p \Omega_p - n_w \eta_w S_w). \quad (10)$$

У формулах (6)–(10) позначено: ε_v , ε_p – відповідно частка вертикального навантаження від рухомого складу або постійного навантаження, яка припадає на одну ферму; n_v , n_w – коефіцієнти надійності відповідно для вертикального навантаження від рухомого складу і вітрового навантаження; Ω_v , Ω_p – площі ліній впливу нормальних зусиль в елементах ферм, які завантажуються відповідно рухомих складом та постійним навантаженням, м; m – коефіцієнт умов роботи; R – основний розрахунковий опір металу прогонової будови, МПа; G – розрахункова площа поперечного перерізу елемента, або розрахункова площа його прикріплення, см²; p – величина розрахункового постійного навантаження у розрахунках на міцність і стійкість, кН/м колії; θ – коефіцієнт, яким враховується зменшення динамічного впливу тимчасового вертикального навантаження при розрахунках на витривалість; p' – сумарна інтенсивність постійного нормативного навантаження на головні ферми при розрахунках на витривалість, кН/м колії; S_w – осьове зусилля від вітрового навантаження в елементі пояса, який розраховується, кН; ξ_r – коефіцієнт, яким враховується вплив навантаження в елементах поясу ферми, в рівні якого відбувається їзда.

У формули (2)–(10) підставляються абсолютні значення Ω_v , Ω_p і S_w . Знак «мінус» у формулах (8) і (10) приймається у тому разі, коли Ω_v і Ω_p мають один і той же знак, а «плюс» – при різних знаках.

Додаткові формули, таблиці і графіки та необхідні вказівки для розрахунків елементів балок і ферм наведені в галузевому стандарті [2].

Вантажопідйомність прогонової будови в цілому визначається мінімальним класом K його елементів. При необхідності підсилення його

треба проводити, починаючи з елементів, які мають найменші класи.

Клас прогонової будови за вантажопідйомністю є величиною, достатньо стабільною, і не змінюється в умовах, коли не з'являються дефекти, що впливають на вантажопідйомність (корозія металу, тріщини, механічні пошкодження і т. ін.), не збільшується постійне навантаження, наприклад, під час заміни мостового полотна з укладанням безбаластних залізобетонних плит або не накопичуються з часом суттєві втомлювальні пошкодження металу.

Розрахунок підсилення металевих прогонових будов згідно з галузевим стандартом [2] проводиться також у формі класифікації.

Основні принципи оцінки вантажопідйомності залізобетонних прогонових будов методом класифікації аналогічні принципам класифікації за вантажопідйомністю металевих прогонових будов.

Класифікація за вантажопідйомністю залізобетонних прогонових будов залізничних мостів та визначення умов їх експлуатації проводиться на основі нормативного документа Укрзалізниці ЦП-0085 [3], розробленого в ГНДІ штучних споруд ДПТУ (керівник – канд. техн. наук В. І. Борщов).

При визначенні вантажопідйомності залізобетонних прогонових будов враховується їх стан, а саме:

- фактична міцність бетону та арматурної сталі прогонових будов;
- фізичний стан конструкцій (наявність дефектів, пошкоджень, що з'явилися у процесі експлуатації; вплив атмосферних та інших факторів, що знижують вантажопідйомність будови);
- фактична товщина шару баласту під шпалою на прогоновій будові;
- якість заводського виготовлення і монтажу прогонових будов, а також їх підсилення або ремонту;
- фактичне зміщення осі колії відносно осі прогонової будови;
- конструкція прогонової будови і окремих її деталей.

Визначення вантажопідйомності залізобетонних прогонових будов здійснюється методом класифікації за граничними станами на міцність та витривалість, а також у разі потреби, на тріщиностійкість. Спочатку для кожного елемента прогонової будови, як і для металевих мостів, розраховується максимальна величина допустимого вертикального тимчасового навантаження k , кН/м колії, від рухомого складу.

Клас елемента залізобетонної прогонової будови в залежності від допустимого навантаження k визначається за формулою

$$K = \frac{\Psi k}{k_{et}(1 + \mu_3)}, \quad (11)$$

де Ψ – коефіцієнт, який вводиться для уніфікації результатів класифікації головних балок металевих та залізобетонних прогонових будов і обчислюється за формулою

$$\Psi = \frac{1 + \frac{21}{30 + l_p}}{1 + \frac{27}{30 + l_p}}$$

(l_p – розрахунковий прогон головних балок, м); k_{et} – нормативна інтенсивність еталонного навантаження за розрахунковою схемою Н1 1931 року; $(1 + \mu_3)$ – динамічний коефіцієнт для еталонного навантаження при класифікації залізобетонних прогонових споруд, який визначається в залежності від товщини баласту під шпалою згідно з вимогами Правил [3].

Визначення вантажопідйомності залізобетонних прогонових будов включає розрахунки в перерізах плити баластового корита та головних балок. Як розрахункові перерізи для плити баластового корита та головних балок слід розглядати:

- переріз у місці заробки плити в ребро для консольної її частини;
- перерізи в місцях заробки та в середині прогону плити для монолітної її частини між ребрами;
- переріз у середині прогону головної балки;
- опорний переріз головної балки.

Додатково для плити та головних балок прогонової будови розрахунки проводяться в перерізах, які мають:

- відгини та обриви стержнів робочої арматури;
- різні зміни геометричних розмірів балок;
- дефекти, що можуть впливати на вантажопідйомність будови.

Оцінка вантажопідйомності залізобетонних прогонових будов, що експлуатуються на мережі залізниць України, в залежності від наявності технічної документації виконується різними способами, а саме:

- за опалубними та арматурними кресленнями (спосіб 1);
- шляхом порівняння розрахункових норм проектування прогонових будов із сучасними нормами (спосіб 2);

– прив'язкою параметрів прогонової будови, що експлуатується, до прогонової будови, вантажопідйомність якої була визначена раніше, або до проектів повторного застосування (спосіб 3).

Перший спосіб є основним і його слід використовувати у випадку наявності достовірних арматурних креслень та даних про матеріали, із яких виготовлена прогонова будова.

Розрахункові формули, таблиці, графіки, довідкові матеріали та необхідні вказівки до розрахунків вантажопідйомності плити і головних балок залізобетонних прогонових будов наведені в Правилах [3].

Для оцінки можливості пропуску по мостах рухомий склад залізниць (локомотиви, вагони, важкі транспортери, консольні крани та інші спеціальні навантаження) класифікують за дією на мости. Класифікація рухомого складу полягає в тому, що його вплив на прогонові будови (еквівалентне навантаження) з урахуванням динамічного коефіцієнта виражають також у одиницях еталонного навантаження. При цьому число одиниць еталонного навантаження K_0 називають класом рухомого складу за дією на елементи моста і визначають за формулою

$$K_0 = \frac{k_0(1 + \mu_0)}{k_{et}(1 + \mu)}, \quad (12)$$

де k_0 – еквівалентне навантаження для рухомого складу, який підлягає класифікації, кН/м колії; $(1 + \mu_0)$ – динамічний коефіцієнт для рухомого складу, який класифікують; k_{et} – еквівалентне навантаження для поїзда за схемою Н1 1931 року, кН/м колії; $(1 + \mu)$ – динамічний коефіцієнт для еталонного навантаження, який слід приймати таким, як для поїзда з паровою тягою.

Еквівалентні навантаження k_0 і k_{et} слід приймати для однієї і тієї ж лінії впливу.

Еквівалентні навантаження і класи рухомого складу обчислюють для трикутних ліній впливу довжиною 1...200 м при трьох положеннях вершин (при $\alpha = 0$, $\alpha = 0,25$, $\alpha = 0,5$).

Величини еквівалентних навантажень для рухомого складу, який класифікують, визначають з урахуванням параметрів ліній впливу. Для рухомого складу як системи зосереджених сил з відомими величинами сил (навантаженням на осі) і відстанями між ними інтенсивність еквівалентного навантаження k_0 , кН/м колії розраховується за формулою

$$k_0 = \frac{\sum P_i y_i}{\Omega},$$

де P_i – навантаження на i -ю вісь рухомого складу; y_i – ордината лінії впливу під силою P_i ; Ω – площа лінії впливу, що завантажується.

Максимальною величина k_0 буде тоді, коли один із вантажів (критичний вантаж) знаходиться над вершиною лінії впливу. При розрахунках на ЕОМ, встановлюючи послідовно над вершиною лінії впливу кожен вісь поїзда, знаходять саме невідповідне положення навантаження і максимальну величину k_0 .

Рухомий склад залізниць характеризується великою різноманітністю за навантаженнями на вісь, їх кількістю та відстанню між осями у складі поїзда.

Характеристика всіх видів рухомого складу залізниць України та результати класифікації (еквівалентні навантаження k_0 та класи K_0) за дією на мости навантажень від локомотивів різних типів і серій, вагонів різного призначення, багатовісних транспортерів вантажопідйомністю 100...500 т та консольних кранів у транспортному і робочому положеннях наведені в нормативному документі Укрзалізниця ЦП – 0093 «Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах» [4].

У зазначеній інструкції наведені таблиці еквівалентних навантажень і відповідних їх класів за дією на мости для різних типів рухомого складу, що обертається на мережі залізниць України.

В Інструкції [4] наведені еквівалентні навантаження та класи зчепів з однотипних локомотивів або вагонів. Для поїздів, які сформовані з локомотивів та вагонів різних типів або перспективного рухомого складу з іншими характеристиками, при визначенні величин еквівалентних навантажень та класів можна використовувати спеціально розроблені програми для розрахунку на ПОМ.

Із метою перевірки можливості пропуску рухомого складу по прогоновій будові проводиться порівняння класів елементів прогонової будови з класом рухомого складу. Порівняння класів елементів прогонової будови з відповідним класом рухомого складу, який обертається на ділянці або планується до введення, дозволяє зробити висновки про те, чи задовольняє це навантаження даний елемент або вся прогонова будова в цілому за своєю розрахунковою здатністю.

При порівнянні класів елементів прогонових будов за міцністю та стійкістю з класами рухомого складу можливі такі випадки:

- якщо $K_0 \leq K$, рух тимчасового навантаження відбувається без обмеження швидкості (із встановленою на дільниці швидкістю);

- якщо $K_0 > K$, але

$$\frac{K_0}{(1+\mu)} < K,$$

рух навантаження можливий з обмеженням швидкості;

- якщо $K_0 > K$ і

$$\frac{K_0}{(1+\mu)} > K,$$

рух навантаження по прогоновій будові неможливий навіть з обмеженням швидкості і потрібні підсилення або заміна конструкції.

Для поїздів з тепловозною і електровозною тягою, вагонів і транспортерів у випадку, коли за результатами розрахунків елементів прогонових будов на міцність і стійкість $K_0 > K$, а

$$\frac{K_0}{(1+\mu)} < K,$$

величина допустимої швидкості визначається за графіками рис. 2 або за формулою

$$v = \frac{60}{\mu_0} \left(\frac{K}{K_0} (1+\mu_0) - 1 \right), \quad (13)$$

де K і K_0 – класи елементів прогонової будови і рухомого складу, що визначаються за формулами (1), (11) та (12); $(1+\mu_0)$ – динамічний коефіцієнт для відповідного рухомого складу (μ_0 – динамічна добавка).

Величина динамічної добавки μ_0 в формулі (13) і на рис. 2 розраховується за формулами:

- для металевих прогонових будов

$$\mu_0 = \frac{21}{30+\lambda};$$

- для залізобетонних прогонових будов у разі товщини шару баласту під шпалою до 0,25 м

$$\mu_0 = \frac{15}{20+l_p};$$

- для залізобетонних прогонових будов у разі товщини шару баласту під шпалою в межах 0,25...1,00 м

$$\mu_0 = \frac{20(1-h_6)}{20+l_p},$$

де λ – довжина завантаження лінії впливу, м; h_6 – товщина баласту під шпалою, м (у разі $h_6 < 0,25$ і $h_6 < 1,00$ м приймається відповідно $h_6 < 0,25$ і $h_6 < 1,00$ м).

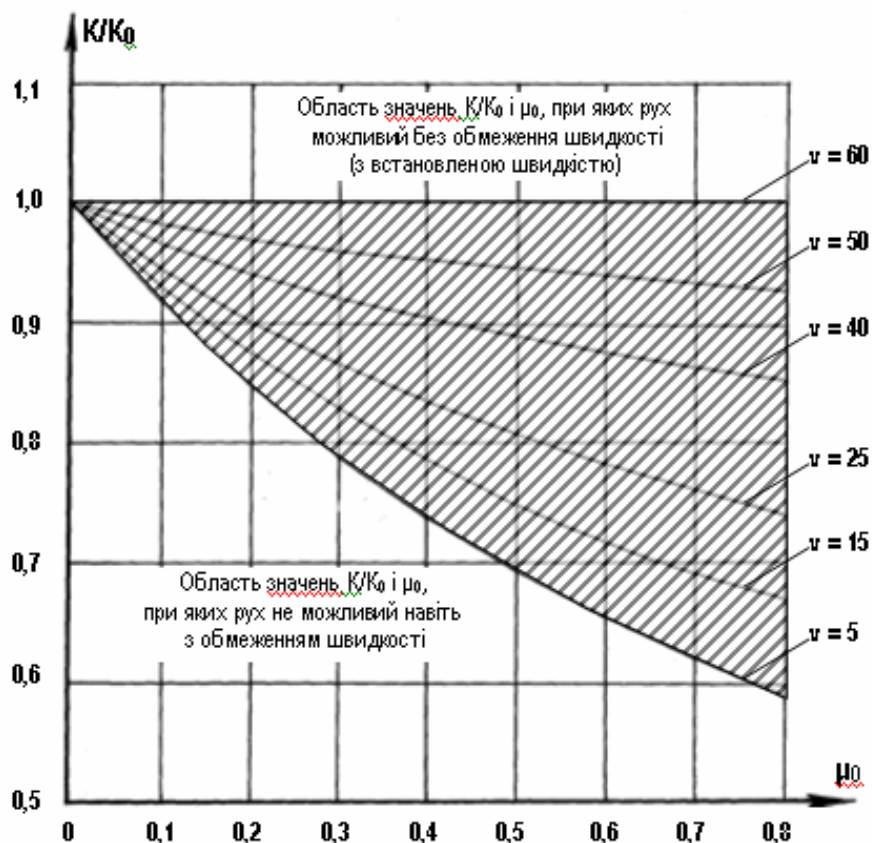


Рис. 2. Графіки для визначення швидкості руху тимчасового навантаження

Для поїздів з паровою тягою величина допустимої швидкості визначається згідно з вказівками галузевого стандарту [2].

У разі недостатнього класу прогонової будови лише за витривалістю обмеження швидкості руху навантаження не вводиться, але необхідно передбачити в плановому порядку підсилення відповідних елементів.

За вантажопідйомністю для всіх мостів, що експлуатуються, крім класу, встановлюється ще укрупнений показник – категорія. Всі мости розподілені на п'ять категорій. До категорії I відносяться мости без суттєвих дефектів, які розраховані на навантаження Н8 та С14 і мають значний запас вантажопідйомності. Мости категорії II та III забезпечують пропуск всіх навантажень, що обертаються на мережі залізниць у даний час, включаючи транспортери вантажопідйомністю до 300 т із швидкістю не менше 25 км/год і транспортери вантажопідйомністю більше 300 т із швидкістю не менше 15 км/год. До категорії IV відносяться мости, які забезпечують пропуск поїздів із вагонами з погонним навантаженням 75 кН/м колії, а також транспо-

ртерів вантажопідйомністю до 300 т включно із швидкістю не менше 15 км/год. Усі інші мости, які не відповідають вимогам категорій I–IV, відносять до категорії V.

Еквівалентні навантаження та класи навантажень, які відповідають вантажопідйомності мостів вказаних категорій, наведені в галузевому стандарті [2].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція по утриманню штучних споруд, ЦП – 0054. – К., 1999. – 96 с.
2. ГСТУ 32.6.03.111–2002. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів. – К.–Д., 2003. – 382 с.
3. Правила визначення вантажопідйомності балкових прогонових будов залізничних мостів, ЦП – 0085. – Д., 2003. – 404 с.
4. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах, ЦП – 0093. – К., 2002. – 302 с.

Надійшла до редколегії 05.05.2004.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАСШТАБА ЗАПИСЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИБОРА ГЕЙГЕРА КАК ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГИБОМЕРА С ПРОВОЛОЧНОЙ СВЯЗЬЮ

Розглядається методика визначення масштабу записів на віброграмі у разі використанні приладу Гейзера з врахуванням деформації дротяної в'язі між приладом і нерухомою точкою.

Рассматривается методика определения масштаба записей на виброграмме при использовании прибора Гейгера с учетом деформации проволочной связи между прибором и неподвижной точкой.

The paper studies a method of defining the scale of vibrato-recordings with the use of Geiger apparatus, with account of deformation of wire connection between the apparatus and the immovable point.

Для оценки надежности и экспериментального исследования действительной работы мостовых конструкций после завершения строительства и при эксплуатации больших и средних мостов проводятся их статические и динамические испытания. Проблема обеспечения необходимой точности получаемых результатов, особенно при динамических испытаниях, в значительной мере зависит от используемых приборов, методики проведения испытаний и определения масштабов записей.

При динамических испытаниях мостов и других конструкций для регистрации колебаний наряду с электрическими методами измерений на протяжении многих лет применяется универсальный прибор Гейгера, который может быть использован как виброграф, тензограф или динамический прогибомер [1–4]. В случае использования при испытаниях мостов прибора Гейгера как вибрографа с дополнительной инерционной массой и спиральной пружиной на виброграмме записываются только колебания конструкции относительно положения ее статического равновесия [1; 4]. Медленно изменяющаяся статическая составляющая прогибов пролетного строения не воспринимается, а нулевая линия на виброграмме оказывается волнообразной из-за крутильных колебаний дополнительной инерционной массы прибора, что затрудняет расшифровку записей и приводит к потере важной информации об изменении статических прогибов пролетного строения при проходе нагрузки по мосту.

Масштаб записей динамической составляющей на виброграмме выбирается фиксированным и в зависимости от принятого отношения плеч в рычажной системе прибора может быть установлен с увеличением M , равным 1,5;

3; 6; 12; 24 и более, однако при больших увеличениях появляются заметные погрешности из-за инерции подвижных частей прибора.

Для записи виброграмм с сохранением статической составляющей динамических перемещений необходимо использовать жесткую или упругую связь прибора с неподвижной точкой. Дополнительная инерционная масса в этом случае не используется. При испытаниях мостовых конструкций, расположенных высоко над землей или над водой использование жесткой связи прибора с неподвижной точкой в большинстве случаев практически невозможно, и поэтому используется упругая связь в виде стальной струны, которая устанавливается с начальным натяжением, для чего последовательно с проволочной связью используется дополнительный упругий элемент – пружина.

При прогибе конструкции деформируется и проволочная связь, и пружина. На записывающее устройство прибора Гейгера передается перемещение точки соединения проволочной связи с пружиной. При сопоставимой жесткости упругой проволочной связи и пружины воспринимаемое вибрографом перемещение будет меньше прогиба (перемещения) конструкции, что должно обязательно учитываться при определении фактического масштаба записей на виброграмме. Однако во всех публикациях по использованию универсального прибора Гейгера при динамических испытаниях мостов и других конструкций деформация проволочной связи не учитывается и считается, что проволочная связь работает как нерастяжимая гибкая нить. В данной работе приводится порядок учета влияния деформации проволочной связи на масштаб записей перемещений и колебаний испытываемых конструкций.

При динамических испытаниях мостов для регистрации колебаний пролетных строений прибор Гейгера в зависимости от местных условий может устанавливаться на неподвижном столике под пролетным строением или непосредственно на пролетном строении, как показано соответственно на рис. 1, а, б. В обоих случаях прибором воспринимается перемещение промежуточной точки *C* соединения проволоочной связи (струны) и пружины, величина которого пропорциональна перемещению точки *A* испытываемой конструкции относительно неподвижной точки *B*, в качестве которой могут быть использованы свайка или груз, уложенный на грунт либо опущенный на дно реки.

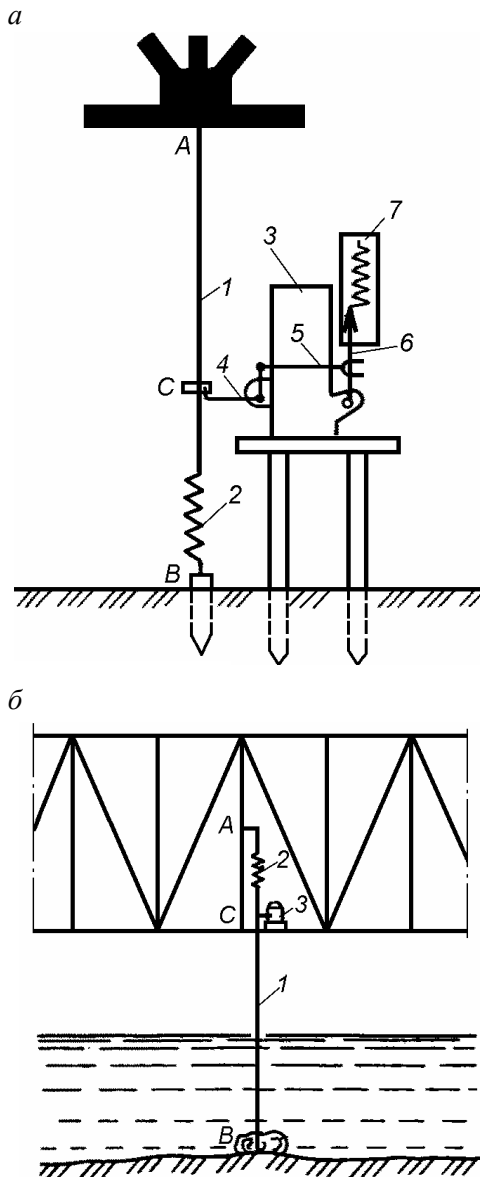


Рис. 1. Схемы установки прибора Гейгера:
а – установка на столике под пролетным строением;
б – установка на пролетном строении;
1 – проволоочная связь; 2 – пружина; 3 – прибор Гейгера;
4 – Г-образный рычаг; 5 – передаточная игла;
6 – перо-рычаг; 7 – бумажная лента.

С учетом работы струны и пружины в упругой стадии величина перемещения точки *C* относительно корпуса прибора будет определяться по следующим формулам:

- при установке прибора на неподвижном столике под мостом (см. рис. 1, а)

$$y_c = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \cdot y_A = \alpha y_A; \quad (1)$$

- при установке прибора на пролетном строении (см. рис. 1, б)

$$y_c = y_A - \frac{\delta_{\text{стр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \cdot y_A = \left(1 - \frac{\delta_{\text{стр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \right) y_A = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \cdot y_A = \alpha \cdot y_A, \quad (2)$$

где α – поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение устанавливаемого на приборе масштаба (общего передаточного числа в рычажной системе записи) из-за наличия упругих деформаций пружины и струны

$$\alpha = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}};$$

$\delta_{\text{пр}}$ – удлинение (податливость) пружины под действием единичной силы, м/Н; $\delta_{\text{стр}}$ – удлинение струны от единичной силы, м/Н. Заметим, что

$$\delta_{\text{пр}} = 1/C_{\text{пр}} \quad \text{и} \quad \delta_{\text{стр}} = 1/C_{\text{стр}},$$

где $C_{\text{пр}}$ и $C_{\text{стр}}$ – соответственно жесткости пружины и струны, Н/м, поправочный коэффициент α к масштабу записей в случае использования упругой связи прибора с неподвижной точкой при обоих способах его установки (под пролетным строением или на пролетном строении) может определяться зависимостями

$$\alpha = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} = \frac{C_{\text{стр}}}{C_{\text{пр}} + C_{\text{стр}}}. \quad (3)$$

С увеличением длины и уменьшением диаметра струны деформативность её увеличивается, а величина коэффициента α при неизменной податливости пружины уменьшается. В случае, если

$$\delta_{\text{стр}} = \delta_{\text{пр}}, \quad \alpha = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{пр}}} = 0,5$$

и масштаб записей уменьшается в два раза. Если $\delta_{стр} = 0,25\delta_{пр}$, масштаб записей уменьшается на 20 %.

При абсолютно жесткой связи прибора с неподвижной точкой $\alpha = 1$, а масштаб записей определяется принятым при испытаниях отношением плеч элементов рычажной системы записи прибора.

Податливости или жесткости струны и пружины могут быть определены расчетным путем для соответствующих условий испытаний и принятых параметров струны и пружины по известным формулам. Однако для определения действительного масштаба записей удобнее производить тарировку (градировку) всей измерительной системы на объекте после установки прибора, начального натяжения струны и пружины и выбора приемлемого передаточного числа M рычажного устройства системы записи.

Задачей тарировки является построение тарировочного графика зависимости величин ординат Δ на ленте пишущего устройства прибора от задаваемых известных перемещений конструкции δ , проверка линейности этой зависимости и определение действительного масштаба записей с увеличением M_d , которое вычисляется по формуле

$$M_d = \frac{\Delta_i - \Delta_0}{\delta_i - \delta_0} = \alpha_T M, \quad (4)$$

где в числителе приведено приращение ординат Δ графика в пределах его линейного участка, а в знаменателе – соответствующее изменение перемещений δ , задаваемых при тарировке; α_T – экспериментальное значение поправочного коэффициента к установленному на приборе масштабу записей M .

Перемещения δ задаются при помощи тарировочно-натяжного устройства с известным постоянным шагом в пределах всего диапазона ожидаемых прогибов конструкции при колебаниях. Натяжное устройство имеет винт с шагом резьбы $h_p = 1$ мм и включается последовательно со стальной струной в точке A при установке прибора Гейгера под пролетным строением (рис. 1, а) или в точке B при установке прибора на пролетном строении (рис. 1, б). Ослабление начального натяжения струны при тарировке имитирует прогиб пролетного строения вниз. Если при испытаниях ожидается перемещение пролетного строения вверх, то тарировка производится с увеличением натяжения струны.

При тарировке автоматически учитываются жесткости струны и пружины, а также возможные дополнительные упругие податливости в их креплениях.

Равенства (4) позволяют получить по результатам тарировки для конкретных условий испытаний действительный масштаб записей (увеличение M_d) с необходимой точностью и учетом всех действующих факторов и величину экспериментального значения поправочного коэффициента α_T по формуле

$$\alpha_T = \frac{\Delta_i - \Delta_0}{(\delta_i - \delta_0)M}. \quad (5)$$

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты тарировки всей измерительной системы при установке прибора на пролетном строении и расположении натяжного устройства у неподвижной точки B . График тарировки показан на рис. 2 (линия 1).

Таблица 1
Определение масштаба записей по результатам тарировки при $M = 3$

Задаваемое перемещение точки B δ , мм	Перемещение пера на ленте Δ , мм	Поправочный коэффициент α_T	Масштаб записи на ленте $M_d : 1$
0	0	—	—
5	10,8	0,72	2,16 : 1
10	21,6	0,72	2,16 : 1
15	32,4	0,72	2,16 : 1
20	43,2	0,72	2,16 : 1

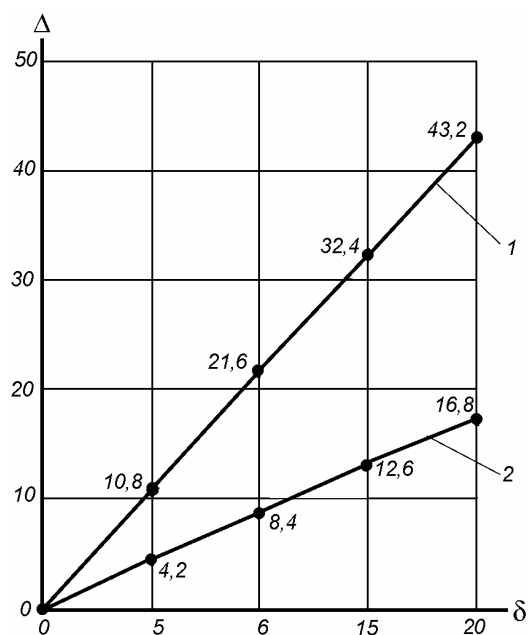


Рис. 2. Тарировочные графики:
1 – при расположении натяжного устройства у точки B ;
2 – при расположении натяжного устройства у точки A

Такие же результаты тарировки оказываются в случае установки прибора на неподвижном столике под пролетным строением и расположении натяжного устройства на пролетном строении у точки A .

Следует отметить, что по местным условиям испытаний (при наличии под пролетным строением воды, крутого склона или ущелья) прибор Гейгера устанавливается на пролетном строении, а натяжное устройство включается последовательно с пружиной в месте прикрепления ее к пролетному строению в точке A (см. рис. 1, б).

В этом случае поправочный коэффициент α_T к масштабу записей будет определяться по следующим формулам:

$$\alpha_T = (1 - \alpha'_T); \quad \alpha'_T = \frac{\Delta'_i - \Delta'_0}{(\delta_i - \delta_0)M}, \quad (6)$$

где α'_T – коэффициент, определяемый в зависимости от задаваемых при помощи натяжного устройства перемещений δ в точке A прикрепления пружины к пролетному строению; Δ' – соответствующие перемещения на ленте прибора при тарировке.

Учитывая зависимость (6), действительный масштаб записей будет иметь увеличение

$$M_d = (1 - \alpha'_T)M = \left(1 - \frac{\Delta'_i - \Delta'_0}{(\delta_i - \delta_0)M}\right)M, \quad (7)$$

где M – устанавливаемый масштаб увеличения рычажной системы прибора.

Результаты вычислений по формулам (6) и (7) при тех же жесткостях пружины и струны приведены в табл. 2, а график тарировки – на рис. 2 (линия 2).

В обоих случаях, как и следовало ожидать, поправочный коэффициент α_T и масштаб записи оказались одинаковыми и постоянными для всего диапазона задаваемых перемещений. Это свидетельствует о том, что пружина и проволоочная связь работали в упругой стадии, а обезгруживания проволоочной связи и струны при отпуске натяжения не происходило.

Таблица 2
Определение масштаба записи по результатам тарировки при установке натяжного устройства последовательно с пружиной при $M = 3$

Задаваемое перемещение точки A δ , мм	Перемещение пера на ленте Δ' , мм	α'_T	Поправочный коэффициент $\alpha_T = (1 - \alpha'_T)$	Масштаб записи на ленте $M_d : 1$
0	0		–	–
5	4,2	0,28	0,72	2,16 : 1
10	8,4	0,28	0,72	2,16 : 1
15	12,6	0,28	0,72	2,16 : 1
20	16,8	0,28	0,72	2,16 : 1

Величина поправочного коэффициента к масштабу записей с учетом всех местных условий, параметров струны и пружины оказалась равной 0,72, что соответствует уменьшению масштаба на 28 %.

После завершения тарировки и определения масштаба записи натяжение проволоочной связи (струны) и пружины следует вернуть в исходное состояние.

В заключение следует отметить, что определение масштабов записей на виброграмме предложенным способом позволяет обеспечить необходимую точность измерений при динамических испытаниях мостов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аистов Н. Н. Испытание сооружений., – Л.: Госстройиздат, 1960. – 316 с.
2. Кирилов В. С. Эксплуатация и реконструкция мостов и труб на автомобильных дорогах. – М: Транспорт, 1971. – 196 с.
3. Осипов В. О. Содержание и реконструкция мостов / В. О. Осипов, Ю. О. Козьмин, В. С. Анусперовский и др.; Под ред. В. О. Осипова. – М: Транспорт, 1986. – 326 с.
4. Лучко Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. – Львів: Каменяр, 2001. – 434 с.

Поступила в редколлегию 29.09.2004.

В. П. ТАРАСЕНКО, В. Н. КОСЯК, В. Л. РЫКИНА (ДИИТ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТ АРОЧНОГО МОСТА С РЕБРИСТЫМИ АРКАМИ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОПОР

Наведено аналіз технічного стану, розрахунок з урахуванням податливості проміжних опор та рекомендації з реконструкції міського аркового моста будівництва 1903 г.

Приводится анализ технического состояния, расчет с учетом податливости промежуточных опор и рекомендации по реконструкции городского арочного моста постройки 1903 г.

The paper presents an analysis of technical condition, the calculation, taking into account pliability of the supports, and recommendations on reconstruction of the town arch bridge built in 1903 are presented.

На автомобильных дорогах Украины эксплуатируются мосты разных типов, в том числе мосты, запроектированные по старым нормам на нагрузки, более низкие по сравнению с современными нагрузками, и имеющие существенные дефекты, которые влияют на грузоподъемность сооружений.

Проблема использования старых мостов связана с необходимостью проверки их грузоподъемности с учетом имеющихся дефектов и обеспечения безопасности движения транспорта [1]. Методика расчета грузоподъемности существующих разрезных железобетонных балочных автодорожных мостов разработана достаточно подробно. В меньшей степени исследованы особенности работы многопролетных арочных мостов с арками малой подъемности, сложным законом изменения сечения арок с учетом упругой податливости опор.

В данной работе для реального сооружения с целью определения особенности работы неразрезных арок выполнен на ЭВМ расчет арочных пролетных строений трехпролетного моста с учетом изменения очертания оси арок и податливости промежуточных опор.

Работы выполнены в ОНИЛ искусственных сооружений Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна в 2003 году.

Мост расположен в черте г. Верхнеднепровска и пересекает реку Самоткань, небольшой правый приток реки Днепра.

Мост построен в 1903 году и является одним из первых железобетонных арочных мостов на дорогах Украины и России [2].

По конструкции и сроку службы железобетонный мост через реку Самоткань в г. Верхне-

днепровске уникален и относится к типу арочных мостов с ребристыми арками. Мосты этого типа состоят из отдельных арок, нижняя поверхность которых очерчена по кривой, а верхняя горизонтальная или имеет небольшой уклон в сторону устоев и непосредственно связана с плитой проезжей части моста.

Первый мост такой конструкции (система Геннебика) появился в Австрии около Вены в 1900 году [3]. На территории Российской империи первым железобетонным арочным мостом этого типа был мост в г. Верхнеднепровске, схема и детали его конструкции приведены на рис. 1 и 2.

Мост состоит из трех пролетов величиной в свету по 21,34 м (10 саженой) каждый. В поперечном сечении пролетные строения состоят из трех железобетонных ребристых арок. Расстояние между осями арок в поперечном направлении 3,325 м. Подъем арок по нижней образующей равен 1,8 м, что составляет 1/11,86 пролета. Ширина арок у пят 0,40 м, а в замке – 0,25 м. Устои и промежуточные опоры основаны на железобетонных сваях сечением 25×25 и 30×30 см.

При обследовании моста выявлены многочисленные дефекты и повреждения арок и плиты проезжей части пролетных строений.

Мост эксплуатируется на протяжении ста лет и имеет моральный и физический износ в связи с несоответствием расчетных нагрузок, принятых при проектировании, и современных нагрузок, отсутствием современных ограждающих устройств, необходимостью уширения габарита проезда и наличием дефектов пролетных строений, влияющих на грузоподъемность и безопасность движения автотранспорта.

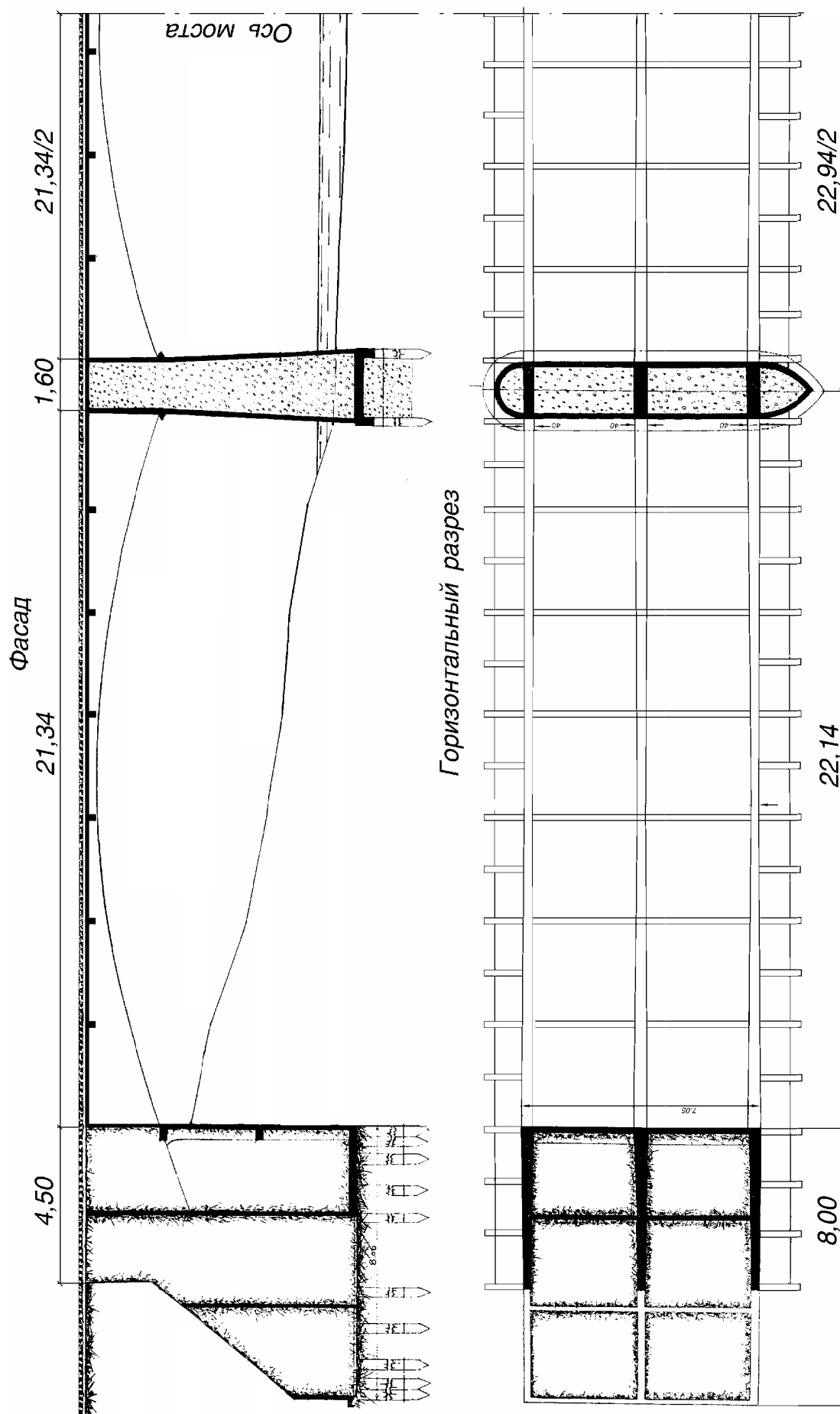


Рис. 1 Схема арочного моста с ребристыми арками

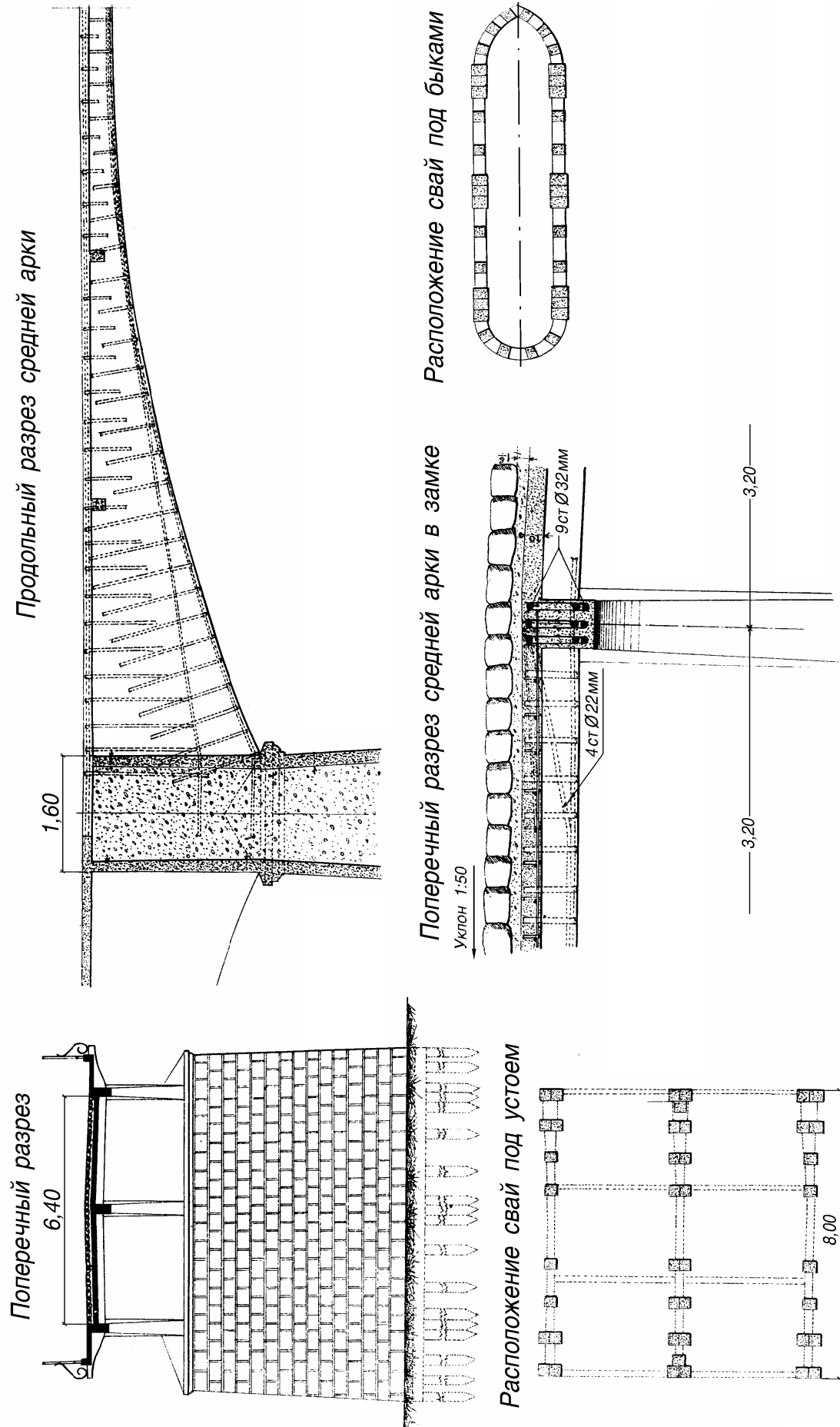


Рис. 2. Детали конструкции моста

В средней части арок первого и третьего пролетов были выявлены местные впадины на длине 8,0...10,0 м величиной до 40...50 мм (на профиле по проезду, по бордюрам и тротуарам), что с учетом повреждений защитного слоя и бетона в нижней части ребер арок может свидетельствовать об остаточных деформациях арок. Состояние устоев и промежуточных опор удовлетворительное. Осадок, сдвигов и кренов опор не выявлено. Вместе с этим следует отметить возможность заметной упругой податливости промежуточных опор моста под действием распора и опорных моментов от временной нагрузки.

Арочные пролетные строения отличаются весьма малой подъемистостью (стрела подъема по центрам тяжести сечений составляет 1/25,02 пролета), сложным законом изменения площади и момента инерции сечений арок и весьма значительным уменьшением сечений от опор к середине пролета. В связи с этим расчет и построение линий влияния усилий в сечениях арок при поверочных расчетах проводились численным методом с использованием метода конечных элементов (МКЭ) и программного комплекса «ИСПА».

Результаты расчета отдельных пролетов моста с ребристыми арками с учетом указанного изменения оси арок из-за провисания их в средней части пролета при отсутствии податливости опор были выполнены ранее и приведены в работе [4].

Расчеты показали, что работа пролетных строений с ребристыми арками с малой подъемистостью и значительным уменьшением сечений арок от опор к середине пролета имеет весьма существенные отличия по сравнению с работой обычных арок. При этом ординаты линий влияния изгибающего момента для опорных сечений и для сечения в замке арок на протяжении всего пролета имеют один знак, а величины изгибающих моментов для сечений у замка арок на порядок ниже по сравнению с изгибающими моментами в опорных сечениях арок.

При расчете с учетом упругой податливости промежуточных опор рассматривалась полная схема моста с разбивкой несущих конструкций на конечные элементы. Каждый пролет арки разбивался на 10 конечных элементов с нумерацией узлов для арок от 1 до 31. Опорным сечениям арок соответствуют номера 1, 11, 21 и 31. Отдельные конечные элементы были учтены для промежуточных опор. Изменение параметров поперечного сечения (площади и момента инерции) по длине каждого элемента принято по линейному закону. Соединение арок с устоями и промежуточными опорами

принято жестким (арки бесшарнирные). Упругая податливость опорных сечений арок происходит за счет продольных, поперечных и угловых деформаций тела промежуточных опор и упругого защемления их в грунте.

Для построения линий влияния усилий N , поперечных сил Q , изгибающих моментов M и перемещений в сечениях арок единичная сила $P=1$ кН последовательно устанавливалась в узлах 2, 3, 4, ..., 16 и для каждой установки выполнялось решение на ЭВМ.

Ординаты линий влияния усилий в узлах системы и перемещений узлов при установке единичной силы в узлах второй половины моста определялись с учетом симметрии системы.

Линии влияния изгибающих моментов M в сечениях арок (узлах) 1, 3, 6, 9, 10_к, 11_н, 13 и 16 показаны на рис. 3 (сечение 10_к расположено в конце конечного элемента 10 – 11, а сечение 11_н – в начале конечного элемента 11–12).

На рис. 4 приведены линии влияния нормальных сил N в сечениях 1, 6, 16 и вертикальных прогибов Y в сечениях 6, 11, 16.

Анализ результатов расчетов показывает, что упругая податливость промежуточных опор трехпролетного арочного моста при рассмотренном очертании оси арок и изменения сечения арок оказывает заметное влияние на очертание и величину ординат линий влияния усилий в арках, особенно для линий влияния нормальных сил в сечениях в начале первого пролета и серединах пролетов.

Линии влияния усилий и вертикальных прогибов для всех сечений арок имеют величины, отличные от нуля, при расположении единичного груза в пределах всей длины моста (см. рис. 3 и 4). При этом наибольшие ординаты для всех линий влияния имеют место при расположении груза в пределах пролета, где находится рассматриваемое сечение. Наибольшие величины ординат линий влияния в пределах соседних пролетов по отношению к максимальным составляют: для нормальных сил 25,5 %, для изгибающих моментов 6,9 % и для вертикальных прогибов 2,9 %.

Наибольшие величины изгибающих моментов возникают в сечениях, примыкающих к концевым и промежуточным опорам, а наименьшие – в сечениях в середине крайних пролетов и среднего пролета моста (см. рис. 3). Максимальные величины прогибов от силы $P=1$ Н в середине крайних пролетов составила $388,5 \cdot 10^{-10}$ м, а в середине среднего пролета – $406,9 \cdot 10^{-10}$ м. Вертикальный прогиб над промежуточными опорами на три порядка ниже.

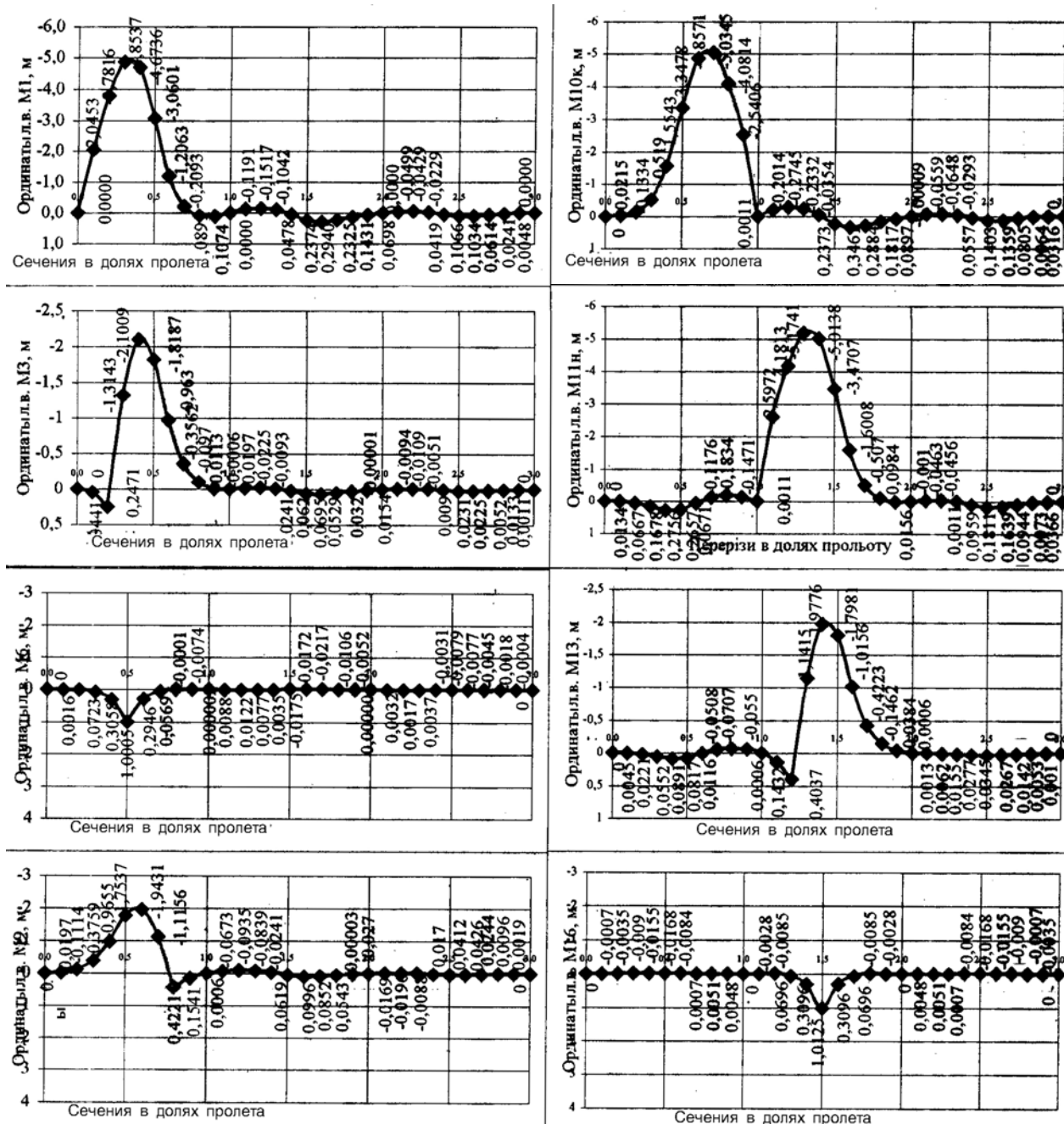


Рис. 3. Линия влияния изгибающих моментов в отдельных сечениях арок

Влияние податливости опор возрастает с увеличением высоты и уменьшением сечения опор.

Для рассматриваемого моста упругая податливость концевых опор (устоев) не учитывалась в связи со значительным размером (до 8,00 м) этих опор по фасаду моста.

В результате проведенного натурного обследования моста и выполненных расчетов установлено, что мост имеет моральный и физический износ арок и плиты проезжей части пролетных строений и не обеспечивает безопасности движения автотранспорта и пешеходов.

Для восстановления нормального движения автотранспорта рекомендовано проведение капитальной реконструкции моста по специальному проекту с усилением существующих арочных пролетных строений путем увеличения по расчету высоты и ширины ребер с добавлением арматуры и устройством накладной плиты, включенной в совместную работу с ребрами, или реконструкция моста с установкой новых железобетонных балочных пролетных строений с одновременным уширением проезжей части и устройством барьерных ограждений.

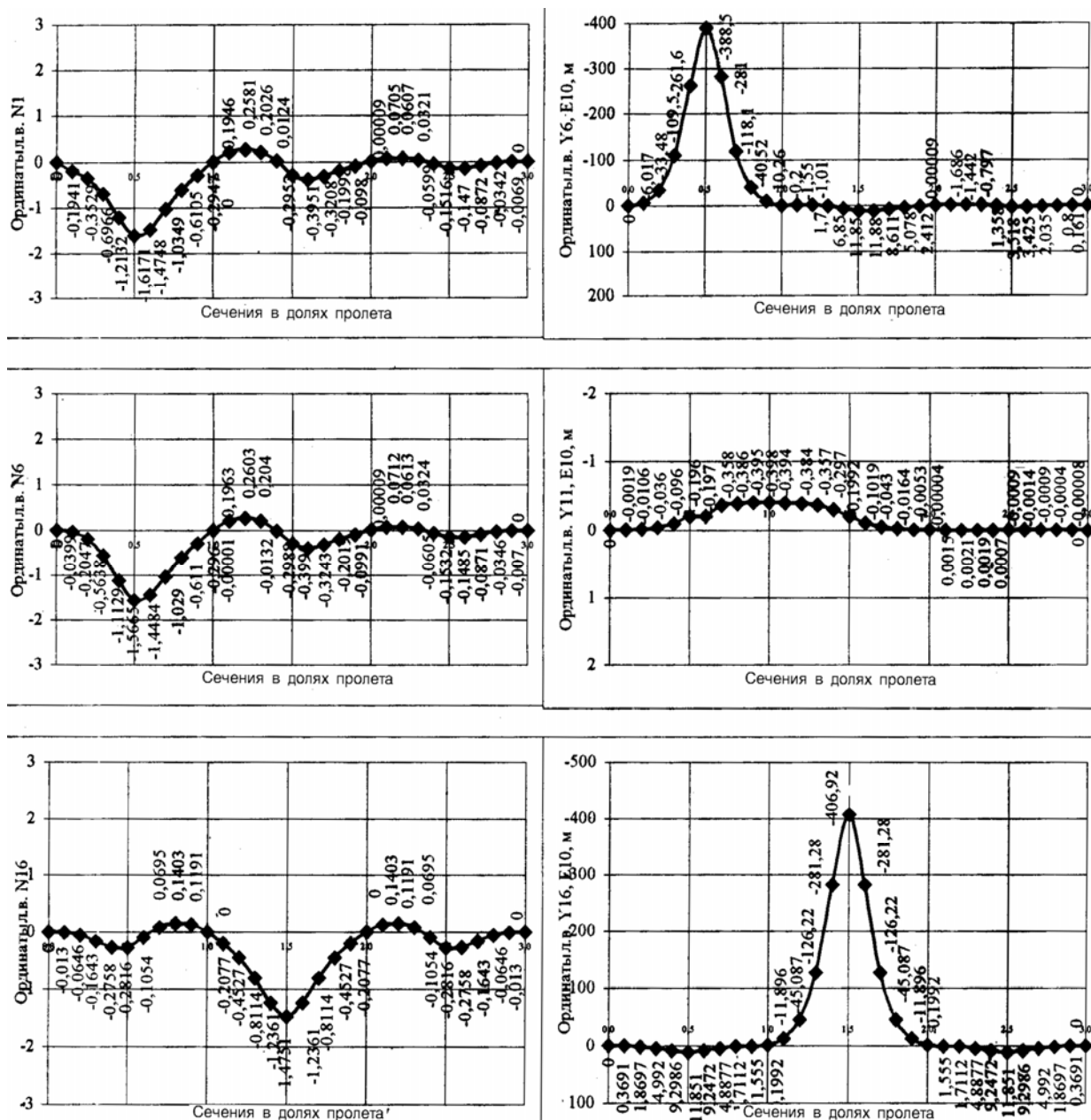


Рис. 4. Линии влияния нормальных сил и вертикальных прогибов арок

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Страхова Н. Є. Експлуатація і реконструкція мостів / Н. Є. Страхова, В. О. Голубєв, П. М. Ковальов и др. За ред. А. І. Лантуха-Лященка. – К., 2000. – 384 с.
2. Успенский Ю. И. Железобетонные мосты и путепроводы в России: Изд. товарищества «Печатня С. П. Яковлева», 1908. – 540 с.
3. Мелан и Гестеши. Железобетонные арочные мосты. / Пер. с нем. под ред. В. В. Григорьева. – М.: Трансжелдориздат, 1939. – 605 с.
4. Тарасенко В. П. Результаты обследования и грузоподъемность арочного моста с ребристыми арками / В. П. Тарасенко, В. Л. Рыкина. Зб. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», № 69. – К.: НТУ, 2004. – С. 241–244.

Поступила в редколлегию 23.07.04.

Т. Ф. ХАРИТОНОВА, В. І. БОРЩОВ (ДІПТ)

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПРОГІННИХ БУДОВ РОЗРАХУНКОВИМ ПРОГОНОМ 110 м СЕРІЇ 3.501.2-139

Розглянуто результати теоретичних досліджень перших шести форм вільних коливань металевих прогінних будов із коробчатими елементами закритого типу і величиною розрахункового прогону 110 м серії 3.501.2-139.

Рассмотрены результаты теоретических исследований первых шести форм свободных колебаний металлических пролетных строений с коробчатыми элементами закрытого типа и величиной расчетного пролета 110 м серии 3.501.2-139.

The paper considers the outcomes of theoretical research of the first six forms of free vibration of metallic span structures with box-like close elements and the design span size of 110 m, of 3.501.2-139 series.

Питання про динамічний вплив рухомих навантажень на прогінні будови мостів привертає увагу понад століття. В останній час робляться нові спроби вивчити окремі сторони цієї проблеми, яка важлива як для проектування нових мостів, так і для правильної постановки справи поточного утримання та експлуатації штучних споруд [1].

Розвиток залізничного транспорту вносить корінні зміни в умови експлуатації залізничних мостів: впроваджуються нові типи локомотивів, вагонів і транспортерів; значно підвищується швидкість руху поїздів; змінюється конструкція залізничної колії. Змінюються і об'єкти динамічного впливу рухомого складу – мости. Широке розповсюдження мають прогінні будови із низьколегованої сталі із зварними коробчатыми елементами головних ферм і монтажними з'єднаннями на високоміцних болтах.

Раніше для перекриття прогонів величиною 110 м були запроєктовані прогінні будови типу 690/7 і 690/7к. У 1987 році Діпротрансміст розробив проект прогінних будов серії 3.501.2-139 (інв. № 1293) для залізничних мостів з їздою низом, прогонами 33...110 м, металевих, із зварними елементами замкнутого перерізу з монтажними з'єднаннями на високоміцних болтах у звичайному і північному виконанні. Такі прогінні будови встановлені не тільки на деяких мостах Росії і Казахстану, заплановано встановити їх і на великих мостах України і Білорусії.

Прогінні будови, які виготовлені за типовими проектами інв. № 690/7 і 690/7К, досліджувалися не тільки теоретично, але і експериментально вивчалася їх поведінка під час

руху по ним поїздів різного типу з різними швидкостями [2].

У сучасних умовах впровадження на залізничному транспорті нових типів рухомого складу з підвищеними навантаженнями і швидкісного руху поїздів, дослідження динаміки прогінних будов мостів отримує особливу актуальність. Розглядати взаємодію такої складної системи, як система «прогінна будова + поїзд» неможливо без знання динамічних характеристик вільних коливань безпосередньо не завантаженої прогінної будови.

Нижче розглядаються динамічні характеристики вільних коливань прогінних будівель розрахунковим прогоном 110 м, серії 3.501.2-139.

Прогінні будови з довжиною розрахункового прогону 110 м призначаються для одноколійних залізничних мостів з їздою низом. Мостове полотно передбачене як на дерев'яних поперечинах, так і на залізобетонних безбаластних плитах БМП. Тротуарні плити і плити сховищ передбачені проектом як із залізобетону, так і металеві.

Головні ферми прогінних будов з довжиною прогонів 88...110 м прийняті висотою 15,0 м. Відстань між осями головних ферм поперек мосту прийнята 5,8 м. До складу головних ферм входять верхні і нижні пояси, а також розкоси коробчатого замкнутого перерізу. Стояки і підвіски мають Н-подібний обрис. Ширина всіх елементів головних ферм 526 мм. Висота поясів головних ферм становить 662 мм, порталних розкосів – 800 мм. Висота проміжних розкосів 450...650 мм, а стояків і підвісок – 380 мм.

Основна конструктивна відміна прогінних будов серії 3.501.2-139 (інв. № 1293) від про-

гінних будов типу 690/7К – герметичні замкнуті елементи поясів і розкосів, що забезпечує можливість відмовитися від захисту їх внутрішніх поверхонь від корозії.

Верхні поздовжні в'язі – хрестової системи з довжиною панелі 5,5 м; елементи нижніх в'язей – таврового перерізу забезпечують включення проїжджої частини в сумісну роботу з нижніми поясами головних ферм.

Портальне заповнення і поперечні в'язі розташовані в площині порталних розкосів і стояків.

До складу проїжджої частини входять поздовжні і поперечні балки висотою 1520 мм, які мають двотавровий переріз.

За конструкцією мостового полотна прогінні будови мають чотири виконання:

- 00 – дерев'яні поперечини і залізобетонні тротуари;
- 01 – дерев'яні поперечини і металеві тротуари;
- 02 – залізобетонні плити БМП і залізобетонні тротуари;
- 03 – залізобетонні плити БМП і металеві тротуари.

Теоретичні дослідження частот і форм вільних просторових коливань провадилися для прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м серії 3.501.2-139 виконання 00.

Для визначення частот і форм вільних просторових коливань прогінних будов використовувався метод скінченних елементів (МСЕ). Під час створення математичної моделі враховувалося, що прогінна будова має поздовжню вісь симетрії. Стосовно симетрії прогінної будови відносно поперечної осі слід зазначити, не зважаючи на те, що сама конструкція будови симетрична, закріплення її кінців різне у зв'язку з чим повну симетрію вважати не можна. На одному кінці прогінна будова має нерухомі опорні частини, які не допускають ніяких переміщень у будь-якому напрямку, а на другому – рухомі опорні частини допускають поздовжні переміщення прогінної будови. Реальна прогінна будова має розподілені по довжині прогону маси, але під час досліджень розподілені по довжині маси, елементи прогінної будови замінювалися дискретними масами, величина яких визначалась за «правилом важеля». Передбачалось, що з'єднання елементів у вузлах головних ферм – жорстке.

Дискретні маси в розрахункових схемах розташовувалися в окремих вузлах головних ферм (рис. 1). Для кожної із цих мас враховувалися вертикальні, поздовжні і поперечні горизонтальні сили інерції.

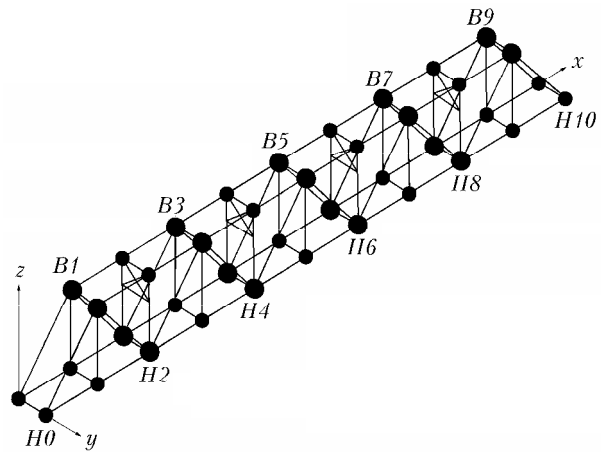


Рис. 1. Розрахункова схема прогінної будови

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по першій формі наведена на рис. 2. Для контурів поперечних перерізів прогінної будови у непарних вузлах вказані нормовані поперечні і поздовжні переміщення. У зв'язку з тим, що поздовжні переміщення надто малі їх величини не наводяться.

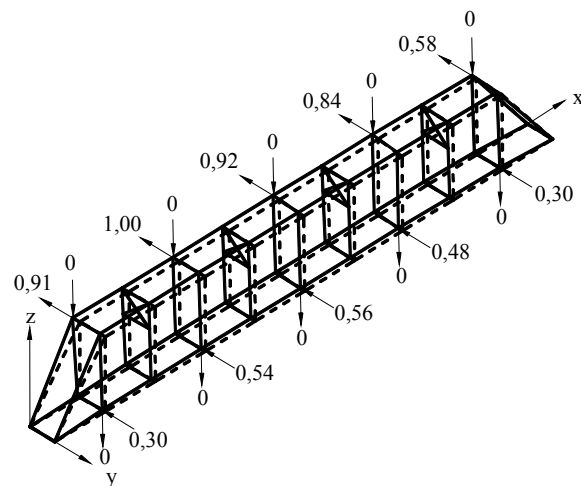


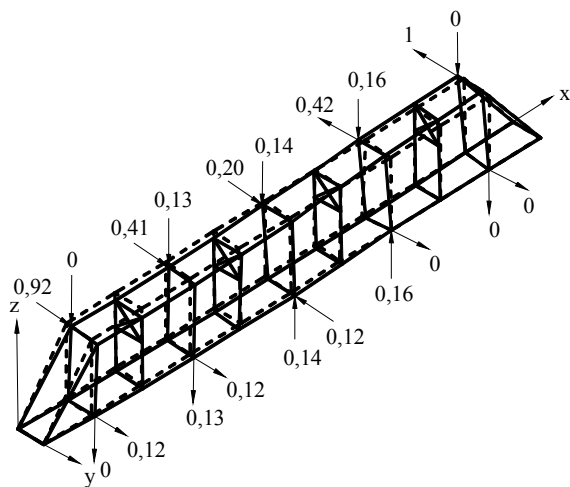
Рис. 2. Перша форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по першій формі відбуваються з частотою 1,02 Гц (період коливань 0,980 с). У цьому випадку верхні і нижні вітрові ферми переміщуються синфазно. Слід також відмітити, що верхня вітрова ферма переміщується на величину вдвічі більшу, ніж нижня вітрова ферма.

Вузли нижньої вітрової ферми переміщуються симетрично відносно своєї поперечної осі. Стосовно переміщень верхньої вітрової ферми то переміщення верхніх вузлів порталної рами над рухомою опорною частиною декілька менші, ніж над нерухомою опорною частиною.

Вільні просторові коливання прогінної будови по другій формі відбуваються з частотою 1,62 Гц (період коливань 0,617 с). У цьому випадку верхні і нижні вітрові ферми переміщуються антифазно. Слід також відмітити, що в середньому перерізі прогінної будови верхня вітрова ферма переміщується на величину втричі меншу, ніж нижня вітрова ферма.

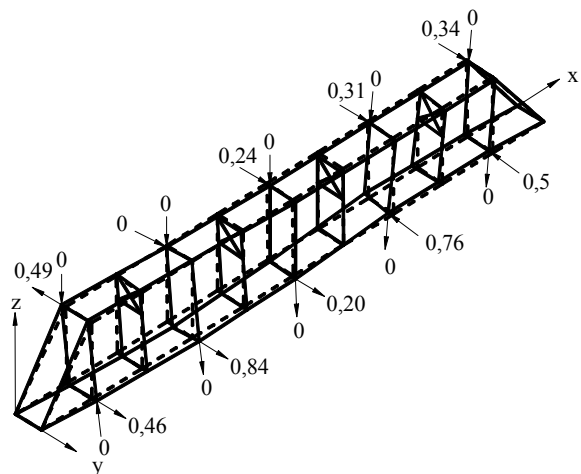
Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по третій формі наведена на рис. 4.



Вільні просторові коливання прогінної будови по третій формі відбуваються з частотою 2,24 Гц (період коливань 0,446 с). При коливаннях по цій формі порталні вузли верхньої вітрової ферми переміщуються у протилежні боки. Головні ферми прогінної будови переміщуються у вертикальній площині синфазно.

Вільні просторові коливання прогінної будови по четвертій формі відбуваються з частотою 2,37 Гц (період коливань 0,422 с). У цьому випадку верхні і нижні головні ферми переміщуються синфазно. Переміщення вузлів ферми в горизонтальній площині практично відсутні.

Вільні просторові коливання прогінної будови по п'ятій формі відбуваються з частотою 3,12 Гц (період коливань 0,329 с).



209

Деформація прогінної будови у просторі досить складна: середина верхньої вітрової ферми і порталні вузли з боку рухомої опорної частини переміщуються в один бік, а порталні вузли з боку нерухомої опорної частини – у протилежний. Вузли нижньої вітрової ферми переміщуються по відношенню до вузлів верхньої вітрової ферми антифазно. При коливаннях прогінної будови по цій формі поперечні контури прогінної будови деформуються.

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по шостій формі наведена на рис. 7.

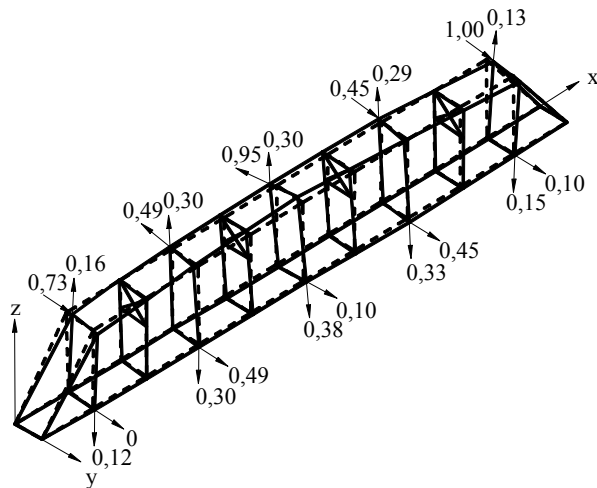


Рис. 7. Шоста форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по шостій формі відбуваються з частотою 3,66 Гц (період коливань 0,273 с). У цьому випадку кінцеві вузли верхньої вітрової ферми переміщуються в один бік, а її вузли В3-В7 – у протилежний. Горизонтальні переміщення верхньої вітрової ферми у вузлах В5 і В10 мають майже однакові величини.

Вузли нижньої вітрової ферми по відношенню до вузлів верхньої ферми переміщуються антифазно. У вертикальній площині головні ферми прогінної будови зазнають антифазних переміщень, що призводить до деформації елементів прогінної будови.

Для порівняння динамічних характеристик в таблиці наведені значення частот вільних просторових коливань прогінних будов, які виготовлені за типовими проектами інв. 690/7 (690/7к) і серії 3.501.2-139 виконання 00 (інв. № 1293), підрахованих за однаковими методиками.

Виконані теоретичні розрахунки показують, що частоти коливань прогінних будов серії 3.501.2-139 виконання 00 нижчі, ніж у прогінних будов, які були запроектовані і виготовлені за типовими проектами інв. № 1293.

Слід мати на увазі, що прогінні будови іншого виконання (01, 02 і 03) будуть мати ще нижчі частоти у зв'язку з тим, що вони мають більшу розподілену масу при однаковій жорсткості.

Таблиця

Частоти і періоди вільних просторових коливань

Форма	Інв. № 690/7 і 690/7к				Інв. № 1293, метод МСЕ	
	Метод МСЕ		Експеримент			
	ν , Гц	T , с	ν , Гц	T , с	ν , Гц	T , с
1	1,07	0,934	0,95	1,050	1,02	0,980
2	1,69	0,592	2,02	0,495	1,62	0,617
3	2,42	0,413	—	—	2,24	0,446
4	2,44	0,410	2,35	0,426	2,37	0,422
5	3,04	0,329	—	—	3,12	0,329
6	3,77	0,265	—	—	3,66	0,273

Раніше в роботах [2; 3] відмічалось, що при русі по прогінних будовах інв. № 690/7 і 690/7К порожніх піввагонів спостерігалися просторові коливання системи «міст-поїзд» з досить великими амплітудами. При завантаженні прогінних будов поїздом у зв'язку зі збільшенням загальної маси системи «міст-поїзд» частота коливань зменшується. Під час досліджень було встановлено, що основною причиною виник-

нення просторових коливань прогінних будов під час проходження по мосту поїздів, які сформовані із порожніх піввагонів, є вплив візків піввагонів відносно кузова і бічна качка піввагона внаслідок збігу цих частот з частотами завантаженої прогінної будови [3].

Під час руху по мосту завантажених поїздів різниця між частотами системи і частотами збудження досить значна. У цьому разі зростання

амплітуд просторових коливань прогінних будов серії 3.501.2-139 у порівнянні з прогінними будовами інв. № 690/7К під час проходження по мосту поїздів із завантажених піввагонів або нафтоналивних поїздів чекати не слід.

У випадку завантаження прогінних будов порожніми піввагонами частота системи «міст – поїзд» змінюється незначно.

Під час руху по прогінних будовах серії 3.501.2-139 навантажень у вигляді чотиривісних піввагонів значні амплітуди просторових коливань можуть проявлятися при меншій швидкості руху ніж для прогінних будов інв. № 690/7 або 690/7К.

Максимальний період вільних поперечних горизонтальних коливань, який дорівнює 0,98 с, відповідає вимогам [4], що ставляться до балочних розрізних металевих прогінних будов залізничних мостів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарь М. Г. и др. Динамика железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1965.
2. Борщов В. І. Динамічні випробування прогінної будови типу 690/7к / В. І. Борщов, М. К. Журбенко, Б. Д. Сухоруков. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 1. – Д., 2003.
3. Борщов В. І. Коливання прогінних будов типу 690/7к під час руху по ним поїздів із порожніх піввагонів / В. І. Борщов, М. К. Журбенко, О. С. Распопов, Б. Д. Сухоруков. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 3. – Д., 2003.
4. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 214 с.

Надійшла до редколегії 17.05.04.

А. И. БЕЛОКОНЬ, Д. Л. ЛЕВЧИНСКИЙ (ПГАСиА)

ПЕРЕУСТРОЙСТВО ОРГАНИЗАЦИЙ В НАПРАВЛЕНИИ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Розглянуто основні моменти в системі організаційної побудови та взаємодії у разі переходу до проектно-орієнтованої організації.

Рассмотрены основные моменты в системе организационного устройства и взаимодействия при переходе к проектно-ориентированной организации.

This article reveals the main aspects in the system of organizational structure and integration at transition to a project-oriented organization.

Современная глобальная управленческая идея заключается в том, чтобы иерархические, вертикальные, системы заменить на горизонтальные, процессные, тем более что именно так – горизонтально – движутся в процессе производства материальные ресурсы.

Такие горизонтальные системы и позволяют в наибольшей степени осуществлять вовлечение в управление большинства работников предприятия.

Мы привыкли воспринимать любое предприятие как совокупность различных отделов, контор и цехов, которые несут ответственность только за выполнение своих задач. Но любая работа – это процесс. Процесс, который пронизывает организацию через функциональные отделы. Процесс, объединяющий цепочку «поставщик – потребитель» и имеющий начало и конец за пределами самой организации. Поэтому на многих предприятиях действуют команды (межфункциональные группы), которые ответственны за ход результатов всего процесса в целом [1; 2]. Роль этих ежедневной команд состоит не в том, чтобы ежедневно управлять каждой из составных частей процесса, а в том, чтоб управлять созданием дополнительных ценностей для потребителя процесса.

Переход к процессной проектно ориентированной организации потребует кардинальных преобразований в самой системе менеджмента: пересмотра ролей в управлении организацией, внедрения статистических методов в управление процессами, командных методов работы, новых правил вовлечения и мотивации, новых знаний (рис. 1).

Преобразование организационных структур в направлении придания им более плоских форм потребует прежде всего передачи полномочий на уровень реальных процессов.

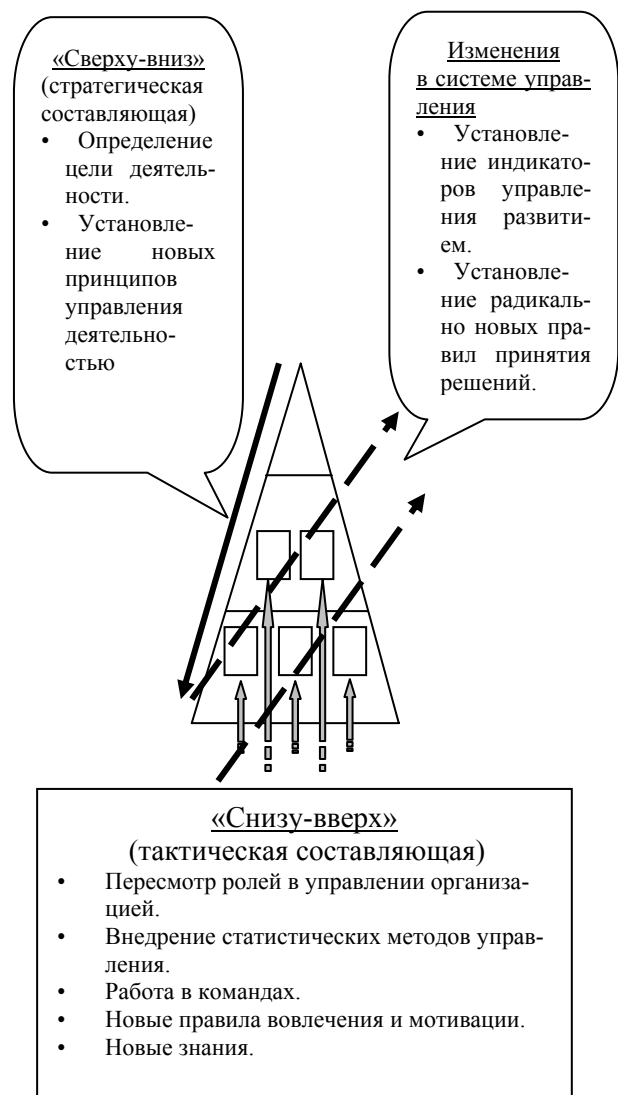


Рис. 1. Переход к проектно-ориентированной организации

Современные системы менеджмента уделяют большое внимание как горизонтальным процессам управления (например, процессам, проходя-

щим по линии «маркетинг – разработки – производство – испытания – продажи – обслуживание»), так и вертикальным процессам, для которых характерно направление не только «сверху вниз», но и «снизу вверх».

Примером горизонтального управления является кроссфункциональная командная работа, статистическое управление процессами, построение организационных структур из цепочек «поставщик – потребитель», структурирование функции качества и т. п.

Движение «сверху вниз» осуществляется через установление политики и целей деятельности (стратегия) и последовательное их доведение до всех уровней компании.

Примером встречного, «снизу вверх», вертикального управления являются знаменитые кружки качества [2], в которые на добровольной основе вовлекались массы работников. Последние получали возможность участвовать в управлении компанией (тактика).

Поскольку инициатива передается рабочим и служащим, менеджеры должны понять необходимость перераспределения ролей.

Их задачей становится не столько руководство и контроль, сколько обслуживание своих подчиненных.

Главным в политике компании по отношению к людям становятся «вовлеченность», «соучастие», «доверие» и «поддержка». Как можно этого добиться? Ответом на этот вопрос служит «мотивация». Отметим здесь, что дело не сводится только к деньгам, и даже главным образом не к деньгам. Существуют не менее сильные мотиваторы. Одни из самых важных среди них такие, как радость от полученных результатов, удовлетворение от командной работы и сотрудничества, признание заслуг коллегами и руководством, ощущение своей значимости и полезности.

Подводя итог сказанному, выделим основные моменты в системе организационного устройства и взаимодействия.

1. Каждая организация должна добавить управление изменениями к своей структуре. Постоянное совершенствование всего, что организация делает, – первое направление работы фирмы. Организация должна научиться проводить инновационную деятельность, организованную как непрерывный, систематический процесс.

2. Управление изменениями потребует высокой степени децентрализации, разграничения полномочий и ответственности, передачи какой-то их части на уровень реальных процессов, а точнее – их исполнителям, чтобы задействовать опыт, знания, творческие возможности последних в направлении общего развития.

3. В основу новой системы менеджмента закладывается процессный подход и статистическое мышление. Что это значит? Прежде всего, необходимо представить бизнес, производство как совокупность процессов, приносящих добавленную стоимость (ценность). Каждый процесс имеет входы и выходы. Система менеджмента воздействует на часть входов процессов, с тем чтобы на выходе процессы были статически устойчивы, а следовательно, прогнозируемы, их вариации (изменчивость контролируемых важных для нас параметров процесса) уменьшались.

Другими словами, предприятие – это совокупность процессов, на входе которых требования, нужды или ожидания потребителей, а на выходе – результаты в виде достигнутого уровня соответствия этим требованиям. Все выходы процессов поставщиков – это входы процессов нашего предприятия. На выходе этих процессов – продукция, услуги и вознаграждение за добавленную стоимость к входным процессам, которое мы получаем от наших потребителей [2].

4. Для получения новых идей по совершенствованию процессов и вовлечения в управление предприятием всех рабочих и служащих используется командная работа (межфункциональные группы). От каждой группы требуется описать свой процесс в терминах «вход – выход», установить требования к своим поставщикам, передать результаты процесса своим потребителям.

Команды занимают важное место в деятельности компании, которая своей целью ставит непрерывное всестороннее самосовершенствование, поскольку они генерируют новые взгляды, формируют массив необходимой информации о процессах, интегрируют её и выражают в форме конкретных идей и предложений по улучшению.

5. Чтобы добиться инициативы и направить интересы работников в сторону общих интересов, следует изменить систему мотивации и поощрения.

Меняется роль менеджеров среднего звена. Теперь их задачей становится обслуживание действий команд: описание процессов; сбор и обработка информации; организация конференций, дискуссий и получение новых идей; проверка новых идей на соответствие стратегии и на финансовую рентабельность; разработка интегрированных планов улучшения процессов и продукции; осуществление изменений и контроль полученных результатов от нововведений; изменение стандартов выполнения процессов и др.

Высшее руководство очерчивает будущее компании, намечает цели, показывает направления развития, разрабатывает стратегии, определяет приоритеты и внутреннюю политику.

Достижение целей осуществляется через проекты и проектную деятельность (тактика).

Кроме этого, потребуется кардинально изменить систему вовлечения в этот процесс персонала – через оценку вклада в совершенствование. Эта оценка должна быть интегрирована с системой действий реинжиниринга процессов.

Техника анализа решений должна основываться на статистическом, процессном и системном мышлении (подходах).

Процессное мышление позволяет представить весь процесс целиком, управлять ресурсами, эффективностью и конечными целями. А системность мышления дает возможность понять, как принятое решение повлияет на все элементы системы.

Общая тенденция в решении этой задачи [2] отражает подход к премированию за нормализацию процесса производства и повышение качества изготовления продукта и деталей продукта.

Для статистического управления процессами нужна достоверная информация и знание выборочных методов контроля. Получить информацию о процессах мы можем только у тех, кто их выполняет. Для этого необходимо выстроить их отношения как звенья цепи, состоящей из внутренних поставщиков и потребителей, установить требования к качеству параметров на входе и выходе процессов.

На рис. 2 представлена модель управления процессами.

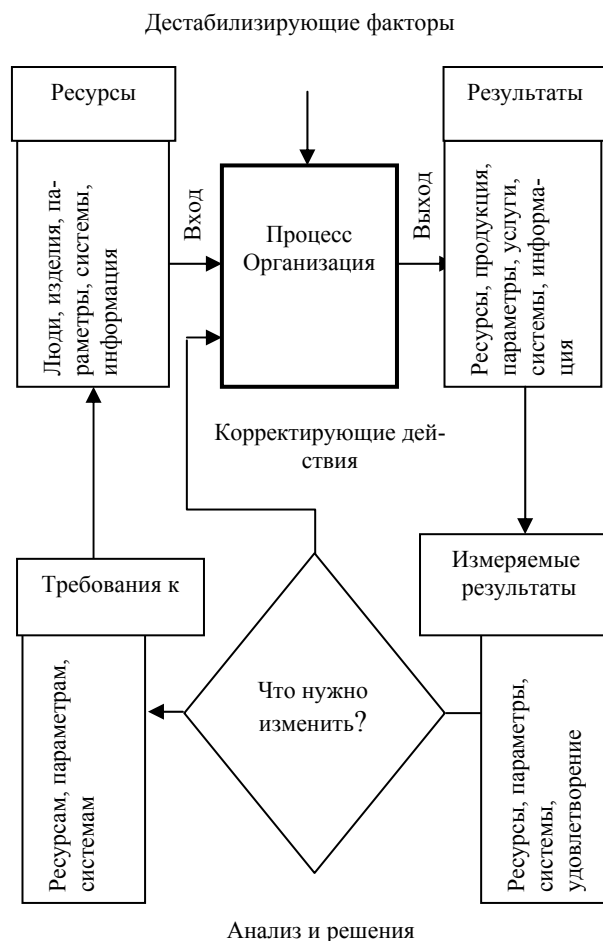


Рис. 2. Модель управления процессами

Анализ задач в области организационного устройства и управления, а также используемых при этом методов принятия решений позволяет сказать следующее.

Управление действиями организации с помощью проектов – это замечательная идея, которая сегодня привлекает умы многих специалистов из разных стран.

Чтобы организация могла меняться вместе с окружающим ее миром и эффективно действовать, необходимо выстроить две системы.

Первая система – это система приоритетов и отбора проектов, увязывающая все проектные предложения со стратегическими направлениями.

Конечная цель – это удовлетворение потребителя. Эта цель непостоянна. Она все время смещается (дрейфует) вместе с меняющимися потребностями. Поэтому изменения и их удовлетворение становятся нормой. И эта работа должна быть постоянно и правильно организована.

Для вовлечения в этот процесс всего персонала, всего творческого потенциала компании нужна продуманная и понятная всем система мотивации.

Система мотивации – это вторая система. Без специальной системы поощрений своих работников, увязанной с принципами стратегии, добиться вовлечения в этот процесс персонала и направить весь его творческий и образовательный потенциал в нужном для нас стратегическом направлении невозможно.

С целью лучшего определения содержания проектов и необходимых усилий требуется системный подход в анализе решений, так как изменения затрагивают весь процесс целиком, всю цепочку «поставщик-потребитель».

На основании вышеизложенного цель дальнейших исследований авторы видят в разработке систем оценки и анализа принимаемых решений по управлению развитием организации с помощью проектов.

Достижение поставленной цели потребует реализации следующих задач.

1. Разработать системный подход к анализу принятия решения о действиях, направленных на достижение всестороннего развития организации.
2. Разработать метод оценки степени удовлетворения потребителя и исследовать характер изменений в цепочке «поставщик – потребитель» при улучшении качества предоставляемых услуг.
3. Установить взаимосвязь: между степенью удовлетворения потребителя, усилиями и достигнутым результатом – показателями эффективности деятельности организации.
4. Разработать систему мотивации и стимулирования, интегрированную со стратегией и сфокусированную на инновации и развитии организации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кремнев Г. Р. Управление производительностью и качеством: Модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации». Модуль 5. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 256 с.
2. Лapidус В. А. Всеобщее качество TQM в российских компаниях. – М.: ОАО Издательство «Новости», 2000. – 432 с.

Поступила в редколлегию 30.11.2004.

CORPORATE IDENTITY PROJECT FOR PROSPERITY OF TRANSPORT ORGANIZATION

Розглянуто корпоративна ідентичність і її складові в транспортній організації. Корпоративна ідентичність – стратегічна ідея, заснована на філософії фірми, баченні фірми і на далекосяжних ділових цілях. Це повинно бути підставою поведінки фірми в її внутрішніх і зовнішніх зв'язках.

Рассмотрена корпоративная идентичность и ее составляющие в транспортной организации. Корпоративная идентичность – стратегическая идея, основанная на философии фирмы, видении фирмы и на далекоидущих деловых целях. Это должно быть основой поведения фирмы в ее внутренних и внешних связях.

The article deals with corporate identity and its parts in a transport organization. The corporate identity is a strategically arranged idea based on the firm philosophy, firm vision and long-term business target. It must be confirmed by the firm's behavior and its internal and external communication.

Introduction

Corporate identity is planned idea about organization, it is about understanding ourselves. Each organization has its own identity, which is less or more unique. Corporate identity is issued from the basic substance of organization. The real shape is touched in a great deal factors.

Corporate identity is covered by components:

- Corporate philosophy,
- Corporate personality,
- Corporate culture,
- Corporate communication,
- Corporatedesign.

Corporate philosophy

Corporate philosophy answers to the questions: «What is really sense of this organization? In what employees find out the sense of their work?» Corporate philosophy drives organization forward. It is central idea from which is all inside organization developing.

Corporate personality

Corporate personality is a part of corporate identity, which knowingly express corporate mission inside and outside. By this corporate personality the corporate can achieve unique characteristic. The sense of own identification and status on the market.

Corporate culture

Corporate culture is defined as long term and actual climate in organization, as the whole culture of organization (level of management, relations between employees, relations between management and

employees, scale of values, motivation, etc.). Next the culture can form itself under impacts of daily life in organization, it is important its purposeful influencing toward required direction.

Corporate communication

Corporate communication is process which is accompanied with corporate identity towards its image through planned target oriented to communication with its participants. Communication (internal and external) is being used in every organization. The difference is in its unanimity, strategic content and targeting of all messages.

Corporate communication covers all elements of communications – corporate design, internal and external architecture, advertising, public relations, discussions with opinion of leaders at key position, communication with corporate employees, sales representatives behavior, advertising brochures, etc. Corporate communication is communication in very wide scope, which is connected with visual, verbal, planned and non planned communication and all other perceptions. Through all these elements participants are creating their picture about company.

Corporate design

Corporate design covers all elements of corporate visual presentation. It is corporate logo, name, colours which are preferable used by organization, used fond of character, buildings, show rooms and its surroundings. Corporate design brings originality in sense perception of organization. That means its influence is emotive. Good corporate design is very strong communication tool. Corporate

design usually consist from these elements or their combination:

- logo;
- colours;
- font of characters;
- symbol;
- slogan (or signature tune).

In such manner as product marks, corporate design is usually based on suitable graphics system, which is found upon strong order in some form. This system defines rules for work with logo, printing materials, advertising, internal and external architecture of buildings, dress of personnel, indication technical equipment etc.

Corporate identity is a complex view of organization, which is created by its philosophy, history, management, leadership, contemporary situation in organization and its view to the next future. The sense of a new view to the firm corporate identity is in easy identification for the outside target groups (to quickly recognize the mark by outside people) and to empower coherency inside the understandable and easy keep in mind.

Corporate identity is a planned idea about organization, it is about understanding ourselves. Each organization has its own identity, which is less or more unique. Corporate identity is seldom purposeful defined and developed by organizations. Corporate identity is issued from the basic substance of organization. Dreamboat is currently defined by the vision or philosophy of the firm.

In praxis we can meet with three types of organization:

1. Firms don't take a great deal of care to corporate identity. In this category we can find a lot of organizations in Slovakia. This firm is not clearly profiled, it is possible to confuse it with other company and therefore it is easy vulnerable by other competitors.

2. Second category contain less quantity of companies. These firms have vision and corporate identity, but their daily real activities don't confirm this identity. Often it is because identity stagnates for a time and it doesn't reflect the real situation, mission and activities of the firm or it was unrealistic from the beginning because it was only a wish of some managers. The organization, which is not able to correlate the planned corporate identity with its real behavior on the market is not trustful and probably it is not stable.

3. The third group is small, it is created by firms, which have real program of corporate identity and which try to fulfill it by its daily communication and activity. This group is growing up anyhow the press of competition on global markets is growing and the meaning of corporate identity as a tool for stress of the organization unique increases.

Then corporate identity is strategically planned conception, which issues from philosophy of organization and from long term entrepreneurial goal. This conception must be fulfilled by communication inside and outside and by the firm's behavior. Planned corporate identity will not be a dream, only when it is consecutively fulfilled by concrete behavior of the organization. Corporate identity is shaped for a long time and it is continuously formed. From time to time it is useful to re-evaluate it in harmony with organization structure, new expansion, differentiation, acquisition, fusion, market conditions, etc. It should express development of important target groups, and stakeholders too.

Conclusions

Corporate identity is not a new phenomenon, but its importance is growing especially for a modern corporation, which want to be successful for a long time. The project provides a complete view to the difficulty of corporate identity as an implement of an increasing effectiveness of transport organization. To building a firm identity is a permanent process, which need to be constanly innovated.

BIBLIOGRAPHY

1. Horáková, I. a kol.: Strategie firemní komunikace, Management Press, Praha 2000.
2. Birnerová, E. a kol.: Metodika stanovenia indexu spokojnosti zákazníka vo verejnej osobnej doprave. VEGA 1/0497/03, Žilinská univerzita v Žiline 2002.
3. Birnerová, E. a kol.: Identifikácia činiteľov spokojnosti zákazníka v cestnej doprave 023/2002/E Inštitucionálny fakultný výskum F PEDaS, Žilinská univerzita v Žiline.
4. Poniščiaková, O.: Manažment v ére globalizácie. In: Zborník konferencie Globalizácia a jej vplyv na transformujúce sa ekonomiky. Žilina 2002.
5. Buková B., Valovič R.: Ekonomika nového tisícročia In: Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie Globalizácia a jej sociálno-ekonomické dôsledky, 2003, ŽU.

Submitted to the editorial board 26.11.04.

TO THE CONCEPT OF OPTIMAL INDEBTEDNESS IN COMPONENTS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Інтелектуальні транспортні системи засновані на трьох ключових принципах: інформація, зв'язок та інтеграція. Функціональні можливості повинні бути забезпечені усіма рівнями: адмініструванням транспортними операторами і транспортними користувачами. Це є обов'язковою умовою для досягнення економічного ефекту.

Интеллектуальные транспортные системы основаны на трех ключевых принципах: информация, связь и интеграция. Функциональные возможности должны быть обеспечены всеми уровнями: администрированием, транспортными операторами и транспортными пользователями. Это является неперенным условием для достижения экономического эффекта.

ITS are based on three key principles: information, communication and integration. The functionality of ITS must be provided by all levels: by administration, transport operators and transport users. It seems to be sine qua non for the positive synergy and expected economical effects.

Introduction

If we abstract from the variety of problems connected with the financing of transport enterprises with respect to their law form and organizational structure, realization of services in public interest, problems with cross-financing inside transport colossus, government subsidies to traffic route, guaranty of bank loans etc., the centre of their financial balance seems to be in the first place the way how they organize and direct their financial activity.

Optimal debt

A wide spectrum of financial management problems has its key places and neuralgic points. One of them is indebtedness. Effective debt management consists in establishment of such financial structure which seems to be the best in regard to the business goals, specific conditions of the enterprise, its economical surroundings and actual situation, in optimization of financial structure. Optimization of financial structure belongs to the most difficult problems of financial economy, especially in terms of absence of universal know-how. Therefore it is advisable to solve optimizing problem close with specific conditions of concrete enterprise and its macro- and microeconomic surroundings. Theoretical approaches represent only an orientation theoretic-methodological basis on which is developed «tailor.made» conception proposed for concrete transport enterprise and its financial structure.

Terminology of optimization

Major components in the solving of the optimizing task are following:

1. philosophy of optimization: know-how of concrete application area, i. e. financial management. It includes identification of critical factors of indebtedness and selection of optimization criteria, **2. instruments** of optimization (mathematical formulas). Criteria selection is subjected primarily to the goals of financial policy of the firm. Other requirements represent multidimensionality of evaluation (alternative criteria) and in connection with them compatibility of applied methods and work definitions.

Synergy in components of ITS

Effects of transport telematics are based on synergistic action of all interested branches and subjects. It results from the fact that ITS are based on three key principles: information, communication and integration. With respect to the conception of ITS the system can be divided into its technical and institutional component. The functionality of ITS must be provided by all levels: by administration, transport operators and transport users. It seems to be sine qua non for the positive synergy and expected economical effects.

From the above mentioned follows: intelligent transport cannot be realized without participation of transport corporations; economic balance and financial stability of these telematic components belong to the basic prerequisites of transport telematics implementation.

Financial stability of transport enterprises depends to a great extent on their financial structure. Optimal way of financing and resultant optimal financial structure are decisive for financial balance and welfare of the firm. Simultaneously, optimization of financial processes comes under to the big fields of ITS activities waiting for their efficient solving. Moreover, challenging investment decisions connected with ITS implementation cannot be made without finance.

Levels of solution

Solution of optimizing task in conditions of transport corporation can be solved in following phases: 1. theoretic-methodological phase: analysis of theoretical approaches to the capital structure and their application problems in practice, comparison, selection of suitable approaches with respect to the multidimensionality of evaluation and specific micro- and macroconditions, 2. suggestions of solving phase: proposal of «tailor-made» methodology for concrete transport corporation, 3. practical phase: application, results, 4. feed-back phase: conclusions and recommendations for practice.

The most important parts of solving is connected with following problems:

- identification of critical factors of financial structure,
- selection of optimization criteria,
- in regard to above mentioned levels work definitions of optimal debt and other needed economic parameters,
- formulation of mathematical functions.

Identification of relevant factors: in this step we consider relevant factors effecting on financial structure from the outside of the enterprise as well as from the inside. According to their character we can separate them into three categories: 1. factors of universal character effecting on the financial structure of each enterprise without exception (e.g. types and structure of assets, cost of capital, taxes etc.), 2. factors which affect in the conditions of concrete national economy (economic reform, recession, indebtedness of economy, development of financial market etc.), 3. specific determinants presenting specific conditions of analysing corporation.

Conclusion

It is evident that establishment of financial structure is affected by great many factors. Moreover, the situation is involved by the fact that these factors affect in combination and synergy.

To the selection of optimizing criteria: it is not easy to select appropriate criteria for optimization in practice. In general we can say following: optimal financial structure is in the main based:

- on the trade-off between taxes and costs,
- on balancing of two decisive factors - return to capital and financial risk.

In specific conditions of the transport firm we can proceed according to answers to following questions:

1. What is the goal of optimization?
2. Is it conformal with the integral goal of business activities?
3. Is it conformal with the financial strategy of the firm?
4. What are the partial financial goals?
5. Is the owner's view in solving of optimizing problem preferred? What view is dominant?
6. Is the evaluation of financial structure multidimensional? What are alternative criteria?

Are they compatible?

In conclusion we must admit with the nestors of capital structure theory: no exact formula is available for evaluating the optimal debt-equity-ratio. Because of this, we often turn to evidence, experiences and guidance from the real world. It's the task for managers, not for theory.

Often is forgotten that intelligent transport requires intelligent solving problems in all parts and components of transport chain; the functionality of ITS must be provided by all levels: administration, transport operators and transport users. Financial stability of transport enterprises promoted by optimal financial structure is a needful state of each transport corporation, of each component of effective system.

BIBLIOGRAPHY

1. CÍSKO, Š. a kol.: Ekonomické aspekty inteligentného dopravného systému (dopravnej telematiky) v odbore cestnej dopravy. VEGA č. 1/1239/04, Žilinská univerzita v Žiline, 2003.

Submitted to the editorial board 10.11.2004.

ВИКОРИСТАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПРИЙНЯТТІ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В МЕНЕДЖМЕНТІ ПЕРСОНАЛУ

Розглядається система підтримки прийняття управлінських рішень в області вирішення проблем менеджменту персоналу. Пропонується використання факторного аналізу як аналітичне забезпечення системи підтримки прийняття управлінських рішень – інструменту, що спроможний оцінити ефективність використання трудових ресурсів підприємства та запропонувати гаму напрямків дій по управлінню персоналом.

Рассматривается система поддержки принятия управленческих решений в области решения проблем менеджмента персонала. Предлагается использование факторного анализа в качестве аналитического обеспечения системы поддержки принятия управленческих решений как инструмента способного оценить эффективность использования трудовых ресурсов предприятия и предложить спектр направлений действий по управлению персоналом.

A system of support of administrative decision-making in the area of staff management is considered. Recommendations have been given, concerning development of analytical provision of the staff management system.

Постановка проблеми

Сучасний стан трансформації економіки України на ринкову вимагає від управлінців конкретних дій в області вирішення проблем менеджменту персоналу. З цією метою необхідно створення систем підтримки прийняття управлінських рішень. У зарубіжній літературі ці системи відомі під назвою Decision Support Systems. Систему підтримки управлінських рішень можна визначити як інтерактивну комп'ютерну систему, призначену для керування різних видів діяльності при прийнятті рішень із слабоструктурованих і неструктурованих проблем [5].

Прийняття рішення є процесом, який за своєю складністю та характером можна порівняти з технологією мислення в цілому. В даному випадку, під прийняттям рішення розуміється одноразовий акт вибору за певним критерієм деякої альтернативи з їх множини. У процесі управління виробництвом рішення приймаються на підставі розрахунків, досвіду, знань, інтуїції, поставленої мети. Поставлена мета потребує від менеджерів прийняття найбільш ефективних рішень, які будуть направлені на її досягнення. При цьому важливо, щоб особа, що приймає рішення, володіла інформацією про оптимальні шляхи і засоби прийняття рішення проблеми.

Проблеми прийняття рішень і поведінка особи, яка приймає ці рішення, останнім часом заслуговують дедалі більшої уваги. Це зумов-

лено перш за все сучасними умовами господарювання. Менеджери, що приймають рішення, стикаються зі складним вибором та необхідністю розгляду множини альтернативних варіантів дій. Для оцінки варіантів використовуються знання спеціалістів (експертні оцінки), складні аналітичні розрахунки, наукові дослідження системи і засоби нових, сучасних інформаційних технологій. Питання підтримки рішень на всіх стадіях цього процесу (постановка мети, розробка і прийняття рішення, виконання та контроль) стають дедалі актуальнішими.

Аналіз публікацій та виділення невирішених частин проблеми

В основу побудови аналітичного забезпечення системи підтримки прийняття управлінських рішень взагалі, і рішень стосовно менеджменту персоналу, необхідно покласти економічний закон – закон зростання ефективності виробництва, коли в часі та просторі всі ресурси, в тому числі і трудові, всі витрати в кожній одиниці кінцевих результатів виробництва повинні знижуватися. Необхідність підвищення ефективності суспільного виробництва в сучасних умовах потребує зниження витрат живої та уречевленої праці [1]. Таке формулювання закону витікає з твердження К. Маркса: «підвищення продуктивності праці полягає саме в тому, що частка живої праці зменшується, а частка колишньої збільшується, але збільшується так, що загальна сума

праці, втіленої в товарі, зменшується»[4]. Таке твердження є і в «Економічній енциклопедії» [3]. При цьому під продуктивністю праці, як відомо, розуміють результативність живої та уречевленої в засобах виробництва праці, ефективне використання яких зумовлює збільшення випуску продукції, тобто підвищення сукупного суспільного результату праці [3]. Потреба мінімізації з часом ресурсів та витрат в кожній одиниці кінцевих результатів витікає також і з закону відносної рідкості ресурсів та закону зростання потреб, які говорять про зростаючі й випереджаючі потреби людини та відносну обмеженість ресурсів для їх задоволення. Постійне зростання потреб людини зумовлено дією закону зростання потреб. Але такому зростанню перешкоджає відносна обмеженість економічних ресурсів, які є передусім речовими факторами виробництва. До них належать засоби праці та предмети праці (в єдності формують засоби праці), використовувані людьми сили природи, наука, форми і методи організації виробництва, інформація. Отже, щоб задовольнити зростаючі потреби людства, необхідно виробляти продукцію, надавати послуги, виконувати роботи з мінімальною місткістю виробничих ресурсів в кожній одиниці кінцевих результатів виробництва взагалі, а зокрема, з мінімальною чисельністю трудових ресурсів.

При цьому трудові ресурси, персонал підприємства, на нашу думку, необхідно розглядати як будь-які ресурси підприємства, на рівні з основними фондами та обіговими коштами. Трудові ресурси, деяким чином, теж виступають як одноразові капітальні вкладення, які підприємство авансує для здійснення виробничого процесу. Звичайно, з використанням трудових ресурсів пов'язані також і поточні витрати, які включаються в собівартість кінцевих результатів діяльності підприємства – заробітна плата та нарахування на неї. Але при цьому не враховуються більші, капітальні витрати, які здійснює підприємство при «придбанні» персоналу на ринку праці, його навчання, створенні сприятливих умов для відтворення і релаксації. До складу таких витрат можуть входити гонорари кадровим агентствам, вартість курсів з підвищення кваліфікації (якщо на стороні), або ж ті самі комунальні витрати, якщо навчання здійснюється безпосередньо на підприємстві, витрати на медичне обслуговування, на санаторно-курортне лікування, на створення житлових умов і т. д. Це дуже значні витрати, про величини яких, на

жаль, рідко хто замислюється. А вони теж повинні братися до уваги і окупатися.

Також при розробці аналітичного забезпечення системи підтримки прийняття управлінських рішень в менеджменті персоналу, необхідно покласти філософію безперервних удосконалень [2]. Філософія безперервних удосконалень, в загальних рисах, представляє собою безперервний процес, в ході якого відбувається безперервний пошук способів та засобів зниження витрат на виробництво кінцевих результатів і підвищення якості товарів. Стосовно управління персоналом, то необхідно, щоб продуктивність живої праці, її ефективність (як ми вже відмічали) безперервно зростала. Як базу порівняння в цьому процесі необхідно брати дані свого підприємства, за принципом: «сьогодні краще, ефективніше, ніж вчора».

Основний матеріал досліджень

Як наповнення аналітичного забезпечення системи підтримки прийняття управлінських рішень в області персоналу необхідно покласти факторний аналіз. Якраз він і покликаний допомогти одержати управлінському персоналу відповідь на питання КОЛИ, ДЕ, та ЯКІ ЧИННИКИ вплинули на ефективність використання трудових ресурсів підприємства? При цьому слід розрізняти чинники першого та другого роду. До чинників першого роду відносяться безпосередньо сама зміна обсягу виробництва кінцевих результатів і зміна величини трудових ресурсів (і перше, і друге в наших умовах – не рідкість). До чинників другого роду віднесли умови (і відповідальних осіб), що своєю діяльністю вплинули на зміну абсолютних розмірів обсягу виробництва кінцевих результатів і зміну розмірів трудових ресурсів. Очевидно, що чинники другого роду повинен виявити орган системи управління виробництвом (де встановлюється ХТО ВИНЕН і ЩО ТРЕБА РОБИТИ, щоб покращити стан справ, пов'язаних з використанням трудових ресурсів підприємства?).

В основу факторного аналізу та оцінки ефективності використання трудових ресурсів підприємства поклали відношення:

$$E_{\text{тп}} = I_{\text{тр}} / I_{\text{кр}}, \quad (1)$$

де $I_{\text{тр}}$; $I_{\text{кр}}$ – відповідно індекс трудових ресурсів, індекс кінцевих результатів діяльності підприємства.

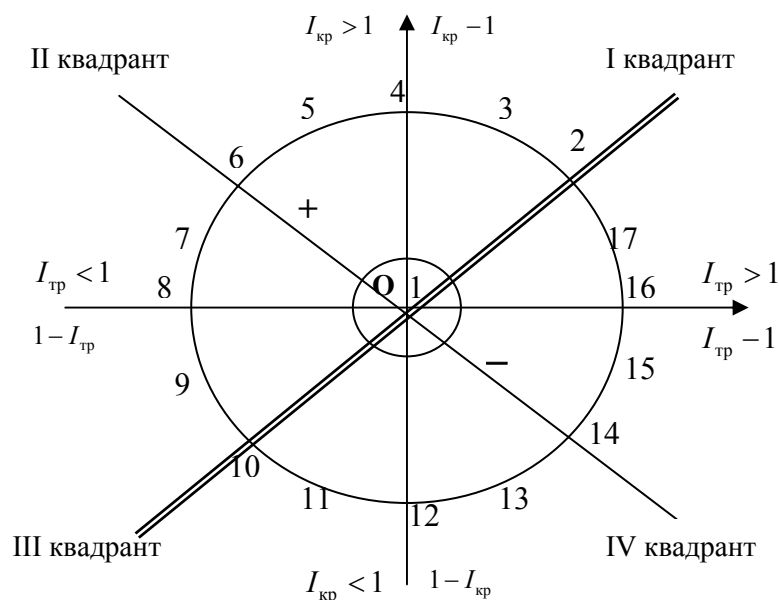


Рис. 1. Діаграма факторного аналізу ефективності використання трудових ресурсів підприємства

Множина результатів відношення (1) формалізували і відобразили у вигляді діаграми (рис.1). На вертикальній осі відкладали зміну кінцевих результатів виробництва. Причому вгору від одиниці фіксували зростання обсягів виробництва ($I_{кр} > 1$) і при цьому відкладали те, що перевищує «1», а саме ($I_{кр} - 1$); униз від «1» – у випадку зниження обсягів, тобто коли ($I_{кр} < 1$), відкладали те, що не достає до «1», а саме ($1 - I_{кр}$). На горизонтальній осі відкладали зміну трудових ресурсів підприємства. Причому вправо від одиниці фіксували зростання чисельності трудових ресурсів, тобто випадки, коли ($I_{тр} > 1$), а відкладали при цьому ($I_{тр} - 1$). Вліво від одиниці зниження трудових ресурсів (тобто, коли $I_{тр} < 1$), а відкладали ($1 - I_{тр}$). Така процедура необхідна для кількісного співставлення різноспрямованих величин. Таким чином, одержали чотири квадранти, які далі лініями рівних значень поділили на дві частини (див. рис. 1).

Таким чином, одержали 17 типів множин точок результатів співвідношення $I_{тр}$ і $I_{кр}$ (1). З них виявилось 7 типів відношення (1), при яких у результаті зміни чисельника і знаменника з часом кожна одиниця кінцевих результатів вироблялася з допомогою менших трудових ресурсів (чим у базовому варіанті). Ця множина точок знаходиться у секторах 3, 5, 7, 9, а також на лініях 1-4, 1-6, 1-8. Тут результати співвідношення (1) інформують користувача про зростання ефективності використання трудових ресурсів у порівнянні з базовим варіантом.

Крім цього, є 9 типів множини результатів відношень між кінцевими результатами виробництва і трудовими ресурсами (1), та одна точка «1», при яких кожна одиниця кінцевих результатів вироблялася з допомогою більших, або з тими ж самими трудовими ресурсами, що і в порівняльному базовому періоді. Це в точці «1», множина точок на лініях 1-10, 1-12, 1-14, 1-16, 1-2, у секторах 11, 13, 15, 17. Тут результати відношення (1) інформують про зниження ефективності використання трудових ресурсів підприємства в порівнянні з базовим варіантом. Слід сказати головне: в 17 типах відношень (1) зібрані абсолютно всі без винятку чинники, які впливають на ефективність використання трудових ресурсів. При цьому контрольний орган визначає центри відповідальності (особи, група осіб) за невірно прийняті в минулому технічні, технологічні, організаційні, економічні, соціальні рішення, та розробляє рекомендації по усуненню чинників, що негативно впливають на економіку використання трудових ресурсів.

Крім того, лінія 2-1-10 є свого роду поділом виробничих чинників ефективного і неефективного впливу на використання трудових ресурсів підприємства.

Всі точки, що знаходяться зліва від лінії, є результатом співвідношення між обсягами виробництва і трудовими ресурсами, що розцінюються позитивно. В усіх цих випадках у результаті змін одиниця кінцевих результатів вироблялася з меншим розміром трудових ресурсів, ніж у базовому періоді.

Всі точки, розташовані справа від цієї лінії розцінюються як негативне явище в ефективності використання трудових ресурсів.

Тобто лінія 2-1-10 є «кордоном» переходу від неефективного використання трудових ресурсів до ефективного. І якщо в результаті аналізу

виявилось, що використання трудових ресурсів неефективне (тобто попадає праворуч від лінії 2-1-10, наприклад, в точку *A*), то для того, щоб ресурси використовувалися ефективно необхідно «прямувати» до лівої частини, перейти «кордон» лінії 2-1-10, і чим далі, тим ефективніше (рис. 2).

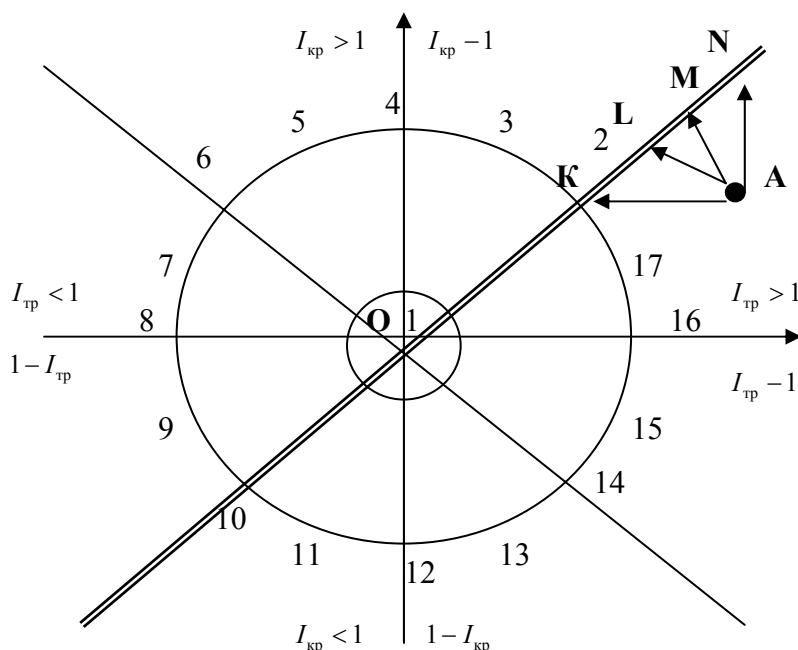


Рис. 2. Інформація про напрямки досягнення ефективного використання трудових ресурсів підприємства

З рис. 2. видно, що трудові ресурси підприємства за аналізований період використовувалися неефективно (точка *A*, співвідношення $I_{кр}$ і $I_{тр}$, знаходиться в 17 зоні). Відрізок *KN* на лінії 2-1-10 – це гама точок, де відбувається перехід від неефективного використання трудових ресурсів до ефективного. Стрілками показано напрямки дій. Причому відрізок *AK* означає ліквідацію зайвих трудових ресурсів при збереженні досягнутого об'єму виробництва, а відрізок *AN* означає, що з зазначеною величиною трудових ресурсів треба виробляти більше продукції. Решта відрізків між ними видають гаму альтернативних варіантів дій, які можуть прийняти менеджери персоналу, щоб підвищити ефективність використання трудових ресурсів.

Перспективи застосування

Застосування рекомендованого аналітичного забезпечення системи підтримки прийняття управлінських рішень в менеджменті персоналу

дозволить, на думку авторів, провести якісний внутрішній аналіз використання трудових ресурсів і запропонувати гаму альтернативних напрямків дій, що приведуть до підвищення ефективності використання трудових ресурсів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Багрова І. В. Нормування праці. – Д.: Вид-во ДУЕП, 2002. – 212 с.
2. Друри К. Управленческий и производственный учет: Пер. с англ. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 1071 с.
3. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1 / Редкол.: С. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. – К.: Видавничий центр «Академія», 2001. – 848 с.
4. Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 23, – с. 286.
5. Олексюк О. С. Системи підтримки прийняття фінансових рішень на мікрорівні. – К.: Наук. думка, 1998. – 508 с.

Надійшла до редколегії 30.11.2004.

А. Н. ПШИНЬКО, С. А. КОРЕЦКАЯ, В. А. ЧЕБОТЕНКО (ДИИТ)

ЭФФЕКТООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТРАТЕГИЮ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Досліджені загальні закономірності й тенденції підвищення ефективності керування матеріальними запасами підприємства на основі логістичної концепції. Подано основні положення логістичної концепції керування матеріальними запасами в логістичній системі. Виявлені фактори в логістичній системі, що впливають на стратегію керування матеріальними запасами.

Исследованы общие закономерности и тенденции повышения эффективности управления материальными запасами предприятия на основе логистической концепции. Представлены основные положения логистической концепции управления материальными запасами в логистической системе. Выявлены эффектообразующие факторы в логистической системе, влияющие на стратегию управления материальными запасами.

The paper studies the main regularities and tendencies of raising efficiency of the company's material stocks management on the basis of logistical concept and presents the main provisions of the logistical concept of managing the material stocks in the logistical system. The effect-creating factors in the logistical system have been revealed, influencing the strategy of the material stocks management.

В рыночной обстановке стратегия развития хозяйствующих субъектов формируется с учетом рыночной конъюнктуры [1], требований, предъявляемых потребителем к качеству предоставляемой на рынок продукции [2]. Одним из важных факторов повышения эффективности деятельности любого предприятия является эффективное управление материальными запасами. Современные украинские предприятия еще не включили управление запасами в состав основных направлений активно осуществляемой стратегии своего поведения в рыночной среде и явно недостаточно используют данный фактор повышения конкурентоспособности. Анализ существующей практики хозяйствования на предприятиях индустриально развитых стран показывает, что общим ориентиром в управлении запасами является их минимизация в допустимых пределах, приводящая к ускорению оборота собственных и привлеченных средств, повышению на этой основе конкурентоспособности, упрочению и расширению своей ниши на рынке товаров, работ и услуг.

Эффективная реализация этих задач осуществляется на основе использования методологических подходов и методического инструментария научной дисциплины – логистики.

Объем материальных запасов в промышленных логистических системах в значительной степени определяет эффективность функционирования этих систем в силу большой капиталоемкости запасов, а также того влияния, которое они оказывают на конечные результаты деятельности экономических субъектов.

Финансовое состояние и финансовые результаты деятельности промышленного предприятия существенно зависят от уровня его материальных запасов. С учетом того что материальные запасы требуют больших капитальных вложений, они являются одним из главных факторов, определяющих рыночную стратегию предприятия. Одновременно уровень материальных запасов определяет степень надежности функционирования логистической системы предприятия, тем самым оказывая влияние на его конкурентоспособность в рыночной среде.

В практике логистического управления продвижением материалопотоков в сфере производства большое внимание уделяется вопросам управления и оптимизации материальных запасов. Этим проблемам посвящены работы ученых М. И. Ледина, В. М. Пурлика, В. М. Лагуткина, Х. Швальбе, Р. Линдерса Майкла, Е. Фирона Харольда, А. Р. Радионова, Р. А. Радионова и др.

Предлагая принципиально иные подходы к управлению материало потоками, логистика позволяет осуществить управление материальными запасами на основе новой методологической концепции с использованием эффективного логистического инструментария.

Управление материальными запасами на промышленном предприятии с позиций логистики имеет принципиальные особенности, обусловленные ее концептуальной сущностью. Ниже перечислены важнейшие из них.

Стратегия управления материальными запасами на промышленном предприятии должна в значительной мере подчиняться глобальной рыночной стратегии предприятия [3]. Данное положение является главным отличительным признаком логистического подхода к управлению материальными запасами [4].

Традиционно главная цель управления материальными запасами определялась стремлением субъектов производственной деятельности к экономической безопасности [5]. Применение логистического подхода к проблеме рационального управления запасами на промышленном предприятии трансформируется в определение оптимального размера совокупных материальных запасов, необходимых для удовлетворительного обслуживания потребителей при условии минимизации издержек, связанных с формированием и хранением данных запасов.

Оптимизация локальных запасов уже недостаточна, ориентация предприятия на поддержание оптимальных размеров запасов и минимизацию связанных с этим издержек остается в силе, но лишь при условии ориентации на активную и оптимальную рыночную стратегию предприятия.

Одним из важнейших стратегических ориентиров развития промышленного предприятия является повышение его конкурентоспособности. Понятие «конкурентоспособность предприятия» включает большой комплекс экономических характеристик, определяющих положение предприятия на отраслевом, национальном или мировом рынках [2]. Этот комплекс может содержать характеристики производимых товаров, определяемые сферой производства, а также факторы, формирующие в целом экономические условия функционирования предприятия. Возможность предприятия конкурировать на определенном товарном рынке непосредственно зависит

от конкурентоспособности товара и совокупности экономических методов деятельности предприятия, оказывающих воздействие на результаты конкурентной борьбы. Одним из факторов, характеризующих конкурентоспособность предприятия в условиях современного рынка покупателя, становится показатель качества обслуживания [1; 6], который, в свою очередь, также является комплексным показателем и включает в себя следующие равноценные составляющие:

1. Качество продукции. Данный показатель характеризует совокупность свойств и характеристик товара, которые позволяют наилучшим образом удовлетворять запросы потребителя.

2. Надежность обслуживания. Под надежностью обслуживания понимается гарантированность обслуживания потребителя нужными ему ресурсами в течение заданного промежутка времени вне зависимости от возможных воздействий среды. Количественную оценку надежности обслуживания можно получить через вероятность отсутствия отказа в удовлетворении заявки потребителя в течение определенного временного периода.

3. Уровень удовлетворения спроса. Данный показатель характеризует готовность логистической системы к осуществлению поставки и может быть рассчитан по формуле

$$U_D = (D_\alpha / D_{\max}) 100, \quad (1)$$

где U_D – уровень удовлетворения спроса, %; D_α – количество выполненных заказов, шт.; $D_{\max}$ – общее количество предъявленных заказов, шт.

Этот же показатель может быть рассчитан в денежных единицах измерения. В этом случае в числителе формулы (1) будет стоимость реализованных товаров, а в знаменателе – общая стоимость заказа в денежных единицах.

4. Уровень обслуживания потребителей. Он характеризует долю заказов, выполненных без дефектов и рекламаций в соответствии с требованиями клиентов:

$$U_S = (DEL_r / DEL_S) 100, \quad (2)$$

где U_S – уровень обслуживания потребителей, %; DEL_r – число некорректных поставок, шт.; DEL_S – общее число поставок, шт.

В число некорректных поставок входят поставки с дефектами в изделиях, ошибочные и неполные поставки, поставки с опозданием и преждевременные поставки.

5. Уровень логистических издержек. Показатель характеризует отношение издержек на осуществление логистических операций к общему объему выручки от реализации продукции

$$U_C = (LC/TR)100, \quad (3)$$

где U_C – уровень логистических издержек, %; LC – логистические издержки, грн; TR – выручка от реализации продукции, грн.

Фактором, оказывающим существенное влияние на повышение конкурентоспособности промышленного предприятия, является состояние его материальных запасов. Для обеспечения высокого качества обслуживания прежде всего необходима рационализация системы управления материальными запасами. Цель управления материальными запасами в логистической системе промышленного предприятия, определяемая как оптимизация совокупного материального запаса для повышения качества обслуживания, может быть конкретизирована в следующих задачах:

- 1) наиболее полное удовлетворение спроса, предъявляемого на производимую предприятием продукцию;
- 2) повышение уровня обслуживания потребителей производимой продукции;
- 3) снижение издержек на формирование и хранение материальных запасов.

Указанные направления оптимизации взаимно противоречивы, достижение максимально возможного состояния по всем направлениям одновременно невозможно, поэтому требуется установление критериев оптимизации системы управления запасами, то есть конкретных параметров, к которым следует стремиться. В качестве таких параметров могут быть выбраны значения количественных показателей, оценивающих степень достижения перечисленных целей каждым конкретным производителем.

Так, стремление к чрезмерно высокому уровню удовлетворения спроса требует значительного объема хранимых запасов.

В конкретной логистической системе уровень удовлетворения спроса устанавливается как нормативный параметр стратегии управления запасами и в реальной хозяйственной практике не превышает 90...95 % [7].

Повышение уровня обслуживания потребителей требует увеличения издержек на осуществление более тщательного контроля за поставками, внедрение автоматизированных систем учета и контроля материальных потоков, на обучение персонала и повышение мотивации труда.

Важным параметром стратегии управления материальными запасами в логистической производственной системе является уровень издержек на формирование и хранение запасов.

Уровень издержек на формирование и хранение материальных запасов определяется по формуле

$$U_{TCI} = (TCI/TR)100, \quad (4)$$

где U_{TCI} – уровень издержек на формирование и хранение запасов в логистической системе, %; TCI – полные издержки на формирование и хранение материальных запасов за анализируемый период, грн; TR – выручка от реализации продукции за анализируемый период, грн.

В научных работах, посвященных вопросам оптимизации запасов в логистической системе, указывается на наличие нелинейных зависимостей между вышеприведенными параметрами. В результате исследований были получены модельные зависимости между показателями уровня удовлетворения спроса и величиной доходов и прибыли, получаемых при выбранном уровне удовлетворения спроса [7].

Алгоритм формирования запасов в логистической системе представлен на рис. 1.

Следовательно, стратегия управления материальными запасами включает разработку обоснованных норм запасов, их планирование, учет, анализ, контроль за фактическим состоянием и оперативное регулирование.

Таким образом, выявлены эффектообразующие факторы в логистической системе, влияющие на стратегию управления материальными запасами.

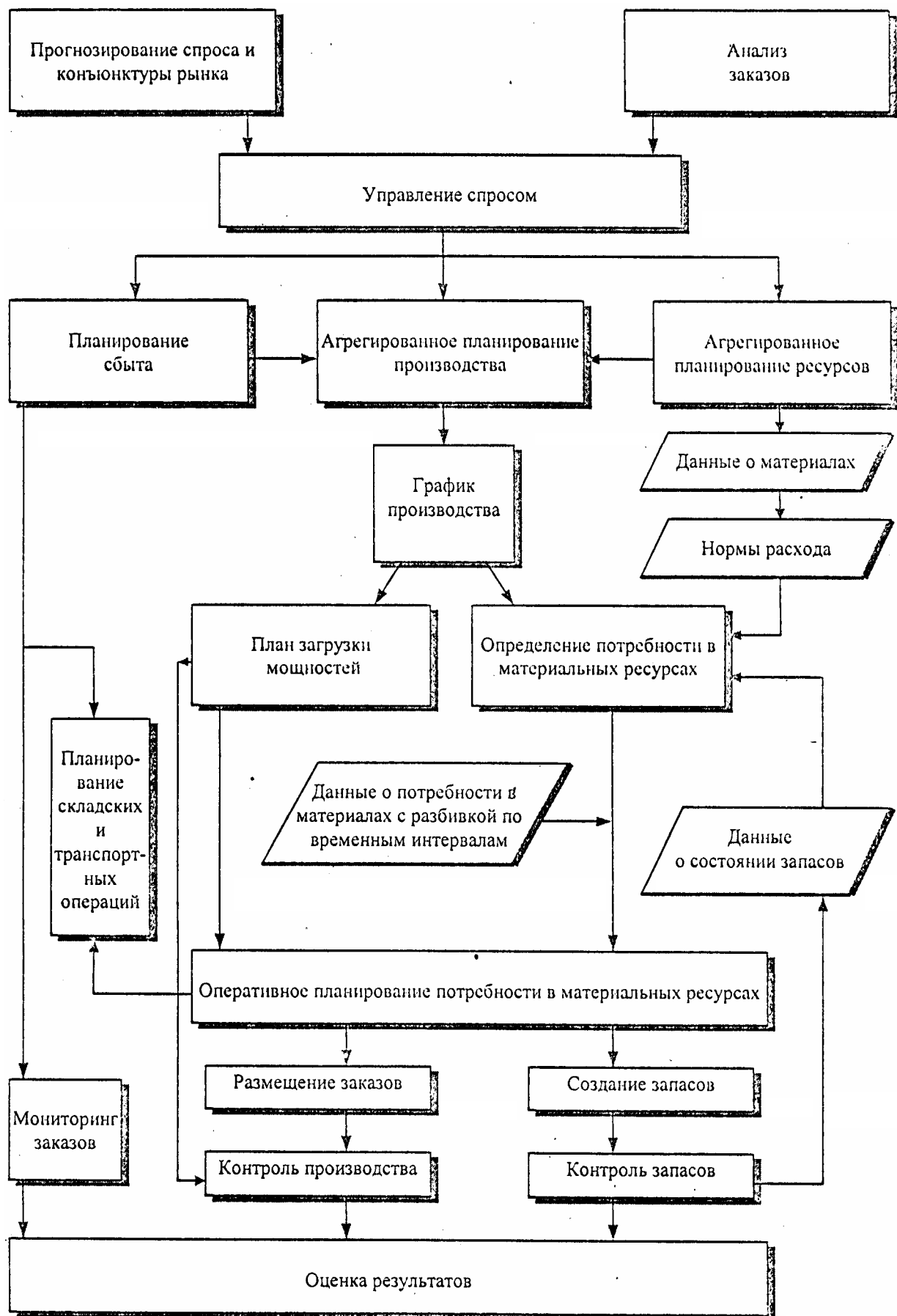


Рис. 1. Алгоритм формирования запасов в логистической системе

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корецкая С. А. Состояние потребительского рынка Украины / С. А. Корецкая, В. Ю. Божанова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д., 2002. – №. 9. – С. 23–29.
2. Корецкая С. А. Актуальность проблемы качества на современном этапе // Химические и минеральные добавки в цементы и бетоны: Сб. тр. Междунар. научно-практической конференции. – Запорожье: Будиндустрия, 2002. – С. 103–107.
3. Пшинько А. Н. Планирование логистической стратегии транспортных предприятий / А. Н. Пшинько, Н. В. Савицкий, С. А. Корецкая, В. Н. Сердюк // Економіка і управління: Зб. наук. пр. КУЕТТ. Серія, 2003. – Вип. 3. – С. 52–57.
4. Пшинько А. Н. Логистический подход к управлению материальными запасами / А. Н. Пшинько, С. А. Корецкая // Економіка і управління: Зб. наук. пр. КУЕТТ. Серія, 2004. – Вип. 6. – С. 125–128.
5. Логистика: Учебн. пособие / Под ред. Б. А. Анкина. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 220 с.
6. Корецкая С. А. Методика выбора инновационной стратегии развития предприятия, основанная на анализе качества продукции / С. А. Корецкая, Н. В. Савицкий // Перспективні задачі інженерної науки. – Д.: Gaudeamus, 2002. – Вип. 4. – С. 124–130.
7. Линдерс Майкл Р. Управление снабжением и запасами. Логистика / Р. Линдерс Майкл, Е. Фирон Харольд. – 2-е изд. – СПб.: Полигон, 1999. – 768 с.

Поступила в редколлегию 30.11.2004.

Т. Г. МОЛОДЧЕНКО-СЕРЕБРЯКОВА

(Харьковская национальная академия городского хозяйства)

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОГО ФОНДА В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Розглядається питання визначення впливу різних факторів-ознак на загальну зміну ціни нерухомості жилого фонду у багатоквартирних будинках.

Рассматривается вопрос определения влияния различных факторов-признаков на общее изменение цены недвижимости жилого фонда в многоквартирных домах.

The paper examines the issue of influence of different featuring factors on the general change of the price of residential real estate in many-storied apartment houses.

В условиях рыночной экономики большое значение приобретает углубленный анализ экономических показателей, который позволяет не только детально исследовать сущность изучаемых явлений и процессов, но и выявить закономерности и тенденции развития объекта исследования. Для проведения подобного анализа используется экономико-математическое моделирование.

Показатель стоимости объекта недвижимости формируется под влиянием не одного, а нескольких разных факторов-аргументов, причем каждой его величине может соответствовать несколько значений результативного показателя (функции). Все факторы, от которых зависит стоимость объекта недвижимости, действуют в комплексе, взаимосвязано, и каждый из них отдельно не оказывает решающего влияния на исследуемый признак, однако их совместное влияние весьма ощутимо. Различная степень воздействия каждого фактора на величину результативного показателя зависит от того, насколько оптимально они сочетаются между собой. Таким образом, для количественного анализа характера влияния нескольких показателей на исследуемую стоимость объекта жилой недвижимости предложена разработка корреляционно-регрессионной модели. Хотя она является упрощенным отражением действительности, но при этом обеспечивается строго математический подход к исследованию экономических взаимосвязей, позволяющий давать количественную характеристику связи, зависимости и обусловленности экономических показателей. Вследствие математической завершенности количественной определенности своих

характеристик, корреляционно-регрессионная модель служит не только средством анализа предшествующего экономического развития, но и становится важным инструментом прогнозных и плановых расчетов.

Решение задачи многофакторного корреляционного анализа произведено с помощью пакета прикладных программ StatGraphics Plus v5.0.1. Enterprise. В качестве исходных данных использованы показатели, характеризующие жилую недвижимость, публикуемые в периодических изданиях объявления о продаже квартир в различных районах г. Харькова (ежедневник «Премьер»).

Для исключения воздействия временного фактора и сезонности, все данные представлены за относительно небольшой промежуток времени (сентябрь–ноябрь 2003 года).

Для многофакторной корреляционной модели были отобраны факторы, оказывающие существенное влияние на цену продажи (Цена): Район – район в котором расположен объект оценки (1 – центр; 2 – приближенные к центру; 3 – отдаленные от центра; 4 – окраина); Габаритность – качество квартиры (улучшенной планировки – 1; полногабаритные квартиры – 2; среднегабаритные – 3; малогабаритные – 4); Износ – степень износа, %; $S_{жСоб}$ – коэффициент соотношения жилой и общей площади; Расст. до ост. транспорта – расстояние до ближайшей остановки транспорта, м; $S_{об}$ – общая площадь квартиры, кв. м; Мат. стен – материал несущих стен (закодирован качественными переменными: кирпич – 1, сборный железобетон – 2); Высота этажа – высота этажа, м; Этаж – этаж, на котором расположена, оцениваемая квартира; Этажность –

количество этажей в здании, в котором находится оцениваемая квартира; Скухни – площадь кухни, кв. м; Расст. до торг. центра – расстояние до ближайшего торгового центра, м.

Объекты продажи (квартиры) сгруппированы по количеству комнат (однокомнатные, двухкомнатные, трехкомнатные и четырехком-

натные) и по районам города (центральные, районы приближенные к центру, районы отдаленные от центра и районы окраины города). Далее были выбраны типовые квартиры для каждого района. Блок-схема выбора типовой квартиры представлена в обобщенном виде на рисунке.

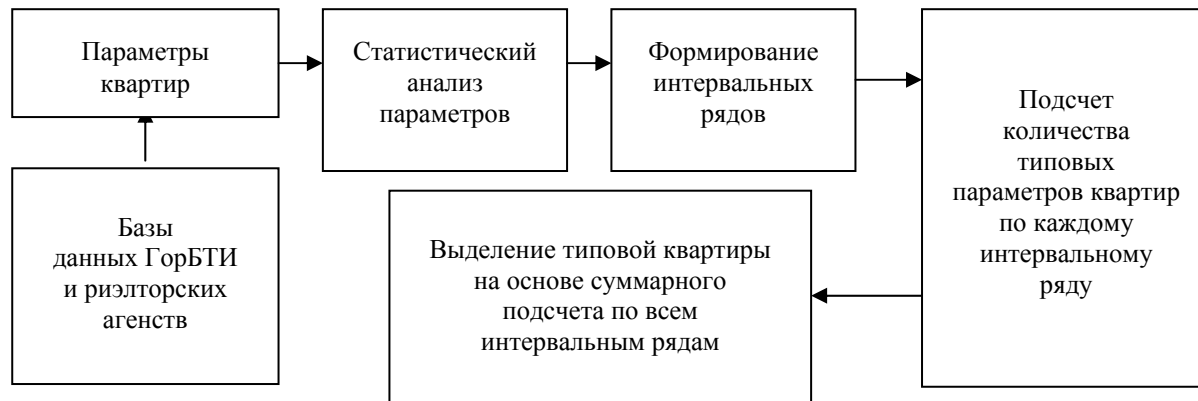


Рис. Блок-схема определения типовой квартиры

После отбора факторов и оценки исходной информации изучается характер и моделируется связь между факторами и результативным показателем, то есть подбирается и обосновывается соответствующее математическое уравнение, наиболее точно описывающее сущность исследуемой зависимости.

Для квартир с различным количеством комнат, было построено по несколько моде-

лей, учитывающих различное количество и комбинации факторов. После этого были выбраны модели, наиболее адекватные с экономической точки зрения, что доказывают высокие коэффициенты детерминации и критерии Фишера.

В результате статистического анализа получены корреляционно-регрессионные модели (таблица).

Таблица

Статистические модели и характеризующие их критерии

Вид модели	Факторы	Критерий Фишера	Число степеней свободы	Коэффициент детерминации, %	Коэффициент детерминации (adjusted for d.f.) (i), %	Коэф. множ. корреляции
Однокомнатные квартиры						
Линейная	СжСоб, Износ, Расст. до ост., Район, Соб, Мат. стен	63,85	0,0000	81,66	80,39	0,91
Двухкомнатные квартиры						
Линейная	СжСоб, Износ, Расст. до ост., Соб, Район, Высота этажа	125,74	0,0000	86,87	99,00	0,93
Трехкомнатные квартиры						
Линейная	все факторы	64,28	0,0000	91,46	99,00	0,95
Четырехкомнатные квартиры						
Линейная	все факторы	60,84	0,0000	93,35	99,00	0,96

Результаты статистического анализа выявили, что наиболее адекватными моделями по представленным типам квартир являются следующие:

1. Однокомнатные квартиры

Цена = 22406,5 – 12398,0 · SжСоб –
 – 48,9209 · Износ – 1,16596 ×
 × Расст. до ост. транспорта + 166,787 ×
 × Соб – 1494,47 · Мат. стен – 2875,04 · Район.

2. Двухкомнатные квартиры

Цена = –5886,06 + 8121,05 · Высота этажа –
 – 44,6227 · Износ – 1,93308 · Расст. до ост. +
 + 147,985 · Соб – 2950,63 · Район.

3. Трехкомнатные квартиры

Цена = –8717,28 – 73,595 · Этаж – 10,4479 ×
 × Этажность + 2489,53 · Sж\Соб + 8140,03 ×
 × Высота этажа – 253,523 · Скухни – 39,6321 ×
 × Износ – 2,44074 · Расст. до ост. + 0,72566 ×
 × Расст. до торг. центра + 441,68 · Соб
 – 1555,25 · Мат. стен – 2580,78 ×
 × Габаритность – 4968,38 · Район.

4. Четырехкомнатные квартиры

Цена = 26436,8 – 117,033 · Этаж – 936,614 ×
 × Этажность – 6812,18 · Sж\Соб + 10650,2 ×
 × Высота этажа – 66,4142 · Скухни – 411,881 ×
 × Износ – 2,29175 × Расст. до ост. + 9,46592 ×
 × Расст. до торг. центра + 373,251 · Соб +
 + 555,829 · Мат. стен. – 5696,78 ×
 × Габаритность – 8759,37 · Район.

Для оценки степени изменчивости показателя Цена, при вариации признака-фактора на 1 % используем коэффициент эластичности ($\mathcal{E}_x$).

Для определения коэффициента эластичности используется формула:

$$\mathcal{E}_x = b \cdot (x_{\text{ср}} / y_{\text{ср}}),$$

где, b – коэффициент при независимой переменной, $x_{\text{ср}}$, $y_{\text{ср}}$ – независимые переменные [1].

Проведенный анализ позволяет изучить закономерности изменения результативного показателя в зависимости от поведения разных факторов, определить их положительное и отрицательное влияние на величину результативного показателя, исследовать причины их изменения, установить, что факторы расположения, технического состояния (износа) и габаритности квартиры являются основными, а остальные второстепенными.

Полученные результаты были учтены далее при разработке и утверждении на региональном уровне методики расчета рыночной стоимости жилой недвижимости в многоквартирных домах, для целей налогообложения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимова М. Р. Общая теория статистики: Учебник / М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев. – М.: ИНФРА-М, 2000.

Поступила в редколлегию 30.11.2004.

HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN SLOVAK TRANSPORT COMPANY

Розглянуто управління людськими ресурсами в транспортній компанії. Коротко розглянуті: управління якістю, функції управління людськими ресурсами і вимоги до персоналу.

Рассмотрено управление людскими ресурсами в транспортной компании. Вкратце рассмотрены: управление качеством, функции управления людскими ресурсами и требования к персоналу.

The article deals with human resource management in a transport company. It shortly examines the following: quality management, the functions of human resources management and requirements to the human resources personnel.

Introduction

Over the last years companies and organizations in our country have faced a completely new situation – the market directed economy system. To «survive» in these conditions it is necessary to deal with new economic, technical and human resources (hereinafter HR) issues. Their successful and flexible solving and exploitation affect economic «survival» of the companies as well as the individuals.

In this context companies start to focus on the HR management as a rate of quality, effectiveness and the related overall results.

Future perspectives of the companies will very much depend on:

- Quality of provided services;
- Product quality;
- Human potential quality;
- Professional and personal capabilities to fulfill assigned tasks;
- Overall quality of the company outputs;

Companies and organizations worldwide implement extensive quality management programs. In an increasing number of professional areas it proved right that an investment into quality was one of the most effective investments, which should be made.

Based on statistical data, lots of companies invest about 20...30 % of their annual turnover into repairing damages, settling conflicts, sorting out complaints, ineffective management etc. For this reason it is necessary to look for the causes operatively and minimize needs with the lowest losses possible. Bad quality not only harms the name of the company but even of those of the employees and has negative impacts on overall company out-

puts. Finally, it also reflects in the consumer behaviour, final products, customer attitude etc.

It is important to keep in mind that customers do not usually complain about the product quality as such, but their dissatisfaction can lead to changing suppliers or searching for new ways of cooperation. This is another reason why companies cannot ignore or underestimate the dimension of quality. On the contrary, quality development on all management levels should be a natural part of a company life, its budget, balances, product design and the actual people.

Companies of different size and legal forms offer quality outputs in different forms. Company quality depends on its structure and culture, and as such, it is an abstract quantity including all the quality-related results.

Success, which is closely connected to the quality, is the first indicator of the company „health“. Effective management and the related philosophy, strategy and practical processes are the guarantee of the company growth and prosperity. What is all important here is undoubtedly the human factor, the skills and willingness to fulfill the company's goals.

People are the owners of the quality. It is not only a system or a program introduced by advisors or production or quality management. Quality is what makes companies different from their competitors and what keeps the customers satisfied. For a satisfied customer is the only real indicator of a product quality.

Overall quality gives customers the right to define the services they require, to evaluate the services provided to them and to provide feedback to the suppliers. Companies and their people have to be flexible and adaptable enough to meet the requirements as they change and arise.

Total Quality Management (TQM) is a process ensuring that all the involved satisfy the needs of both external and internal customers. Quality should become a way of life deeply rooted in the company culture and values, and in the attitudes and skills of its people, both the individuals and the teams. Quality-oriented companies (Volkswagen, Rover Group etc.) make quality the center of their philosophy, binding employees on all levels.

How to achieve Total Quality Management

To achieve TQM it is necessary to:

- include the quality-related goals into strategic plans;
- consider the responsibility for quality an inseparable part of the work activities on all levels;
- ensure that all company employees lead by the company management fully agree and undertake to assure the quality;
- create quality-oriented teams interconnected both horizontally and vertically to cover the customers and the suppliers;
- provide training and education to the employees to develop their knowledge and skills;
- praise and reward quality improvements;

It is the HR management that owns the tools necessary to participate significantly in the TQM improvement. Experts in the HR management have the main competence in the key aspects of managing quality through people. They can offer all the creativity and knowledge of their internal consultants and service providers in the field of culture and change management, forming teams, communication, education management, ensuring loyalty to the company and behaviour modification.

Requirements to the HR personnel

HR personnel should have the following:

- Knowledge of business and operational plans of the company and ideas how to provide better quality than their competitors. This requires the assessment of the individual factors contributing to the quality performance of the company.
- Capabilities to transform these knowledge and ideas into trustworthy proposals and suggestions for the top management, associated with the plans to be implemented to provide good quality and management of required changes.
- High level of expertise related to the methods of behaviour changing, forming teams, management, education and communication.

- Capabilities to run the HR department as a separate unit dealing with the Total Quality Management; they should prove their capabilities to provide good-quality services to the internal customers.

HR management functions

The most important HR management function contributing to overall quality achievement is the organizational and personal development. The first thing HR management should provide to the employees is an opportunity to gain the knowledge, which together with the skills and experience, leads to qualification necessary to meet the quality-oriented company requirements.

Conclusions

The second most important function is creating work atmosphere focused on quality and providing information to the employees on all levels about tasks and responsibilities of the individual employees, clear presentation of the company strategic goals and forming the working environment, which makes the employees aware of quality assurance, motivates them to participate in fulfilling company goals and provides conditions supporting innovation.

The third function in the importance hierarchy ensuring quality outputs is a motivation system. To ensure quality it is necessary to keep the employees satisfied with their work and the related working conditions, and to provide them with honest wages and due rewards.

A good motivation system is an instrument of quality and gives employees opportunities to come to their own. Such an atmosphere makes room for creativity, new ideas and proposals for management processes and systems.

BIBLIOGRAPHY

1. Armrstrong, M.: Personální management, Grada Publishing, Praha 1999.
2. Bartošová, V.: Ľudský faktor v procese globalizácie alebo «iba zamyslenie» na tému globalizácia In: Zborník konferencie Globalizácia a jej sociálno-ekonomické dôsledky. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2001.
3. Križanová, A.: Pohľad na súčasných manažérov, In: Zborník Medzinárodnej vedeckej konferencie «Moderné prístupy k manažmentu podnikov», Trnava MTF STU, 2002

Submitted to the editorial board 26.11.04.

ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ОПЕРАЦІЙНИМИ ГРОШОВИМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВІ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЇ ЗРОСТАННЯ РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Запропоновано підходи до управління операційними грошовими потоками підприємства на підставі реалізації стратегії зростання ринкової вартості підприємства, що вимагає застосування ефективних методів оцінки управління операційними грошовими потоками. Задача оцінки управління операційними грошовими потоками сформульована з урахуванням концепції прибутковості і ризику фінансово-господарських операцій.

Предлагаются подходы к управлению операционными денежными потоками предприятия на основе реализации стратегии роста рыночной стоимости предприятия, которая требует применения эффективных методов оценки управления операционными денежными потоками. Задача оценки управления операционными денежными потоками сформулирована с учетом концепции прибыльности и риска финансово-хозяйственных операций.

The article offers approaches to management of operating money flows of the enterprise on the basis of realization of the strategy of increased market value of the enterprise, which requires usage of efficient methods of evaluating the management of operating money flows. The task of the estimation of operational money flows management has been formulated with account of the profitability concept and that of the risk of economic operations.

Вступ

Незважаючи на деякі дослідження вітчизняних економістів по оцінці вартості підприємства, залишаються недосконалими підходи до збільшення вартості підприємства. Неможливість використання прибутку як визначального фактора оцінки вартості підприємства обумовлена пріоритетністю ролі методу дисконтування грошових потоків як найбільш об'єктивного й ефективного з позиції визначення ринкової вартості підприємства. Актуальність методу дисконтування грошових потоків в оцінці ринкової вартості підприємства обумовлена тим, що управління грошовими потоками дозволяє управляти вартістю діючого підприємства і сприяє підвищенню його фінансової гнучкості. Грошові потоки, на відміну від показника чистого прибутку, дозволяють співвіднести притоки і відтоки коштів з урахуванням амортизації, капіталовкладень, дебіторської заборгованості, змін у структурі капіталу підприємства.

Постановка задачі

Деякі проблеми управління операційними грошовими потоками підприємства як аналітичного розділу фінансового менеджменту досліджені з достатньою повнотою. Разом з тим, вітчизняні та російські економісти (І. О. Бланк, Д. А. Висоцький, В. В. Ковальов, В. Д. Новодворський, А. Н. Хорін) і вчені закордонних країн

(Р. Брейли, Ю. Брігхем, Л. Гапенски, Б. Коласс, С. Майерс, Ж. Перар, Ч. Празанна, Д. К. Шим) визнають, що ряд питань теорії і практики управління операційними грошовими потоками досліджені недостатньо.

Аналіз праць вчених у даній сфері дозволяє нам виділити пріоритетні питання управління операційними грошовими потоками підприємства, що викликають найбільший науково-практичний інтерес:

- дослідження зв'язку управління операційними грошовими потоками і управління ринковою вартістю підприємства;
- оцінка прибутковості і ризику управління операційними грошовими потоками;
- бюджетування коштів і оптимізація управління грошовими потоками від операційної діяльності в стратегічному аспекті;
- формування ефективної політики комерційного кредитування, у тому числі визначення обґрунтованої ціни дебіторської заборгованості з позиції управління операційними грошовими потоками.

Що стосується дослідження зв'язку управління операційними грошовими потоками і управління ринковою вартістю підприємства, то важливість ринкової вартості підприємства визначається насамперед тим, що саме вона обумовлює зміни курсу акцій підприємства на фондовому ринку. Ринкова вартість є комплексною оцінкою, що адекватно відображає економічну

ефективність діяльності підприємства, тому для багатьох успішно функціонуючих закордонних підприємств ринкова вартість підприємства є найважливішим об'єктом управління. Виходячи з вищезначеного, метою даної статті є аналіз методологічних і методичних підходів щодо управління операційними грошовими потоками підприємства з позиції зростання ринкової вартості підприємства.

Результати дослідження

Сучасна економічна теорія як головну мету діяльності підприємства часто виділяє пріоритет максимізації добробуту його власників, що одержує конкретне втілення в максимізації ринкової вартості підприємства. З розвитком фінансового менеджменту мінялися підходи економістів до визначення його головної мети. У генезисі цієї проблеми можна виділити такі основні підходи [1, С. 72; 2, С. 24–31; 3, С. 128–144, 690–654]:

1. Максимізація прибутку: класична економічна теорія (А. Сміт, А. Курно – представники неокласичної школи).

2. Максимізація біржової капіталізації: неокласична школа.

3. Максимізація корисної діяльності підприємства, економічний зростання і забезпечення фінансової рівноваги підприємства: теорія управління (модель О. Е. Вільямсона).

4. Система цілей підприємства як результат домовленості між окремими особами і групами, що складають підприємство: біхевіористична теорія. До домовленостей відносяться головні цілі, що стосуються виробництва, запасів, продажів, частки на ринку і прибутку.

5. Максимізація ринкової вартості підприємства: сучасна економічна теорія і фінансовий менеджмент. У цій головній меті одержують відображення фактори часу, прибутковості і ризику, що є більш повним відображенням мотивації фінансової діяльності підприємства.

Усього кілька років тому лише обмежене коло фінансових аналітиків і менеджерів вітчизняних підприємств чітко уявляли собі, що таке «вартість підприємства», як вона визначається і як можна використовувати цю категорію для пошуку оптимальних рішень по управлінню підприємством. Максимізація прибутку усе ще має безліч прихильників унаслідок досить розроблених методик оцінки і управління. В той же час ринкові умови ставлять під сумнів раціональність орієнтації на максимізацію прибутку як головну мету фінансового менеджменту. У ринкових умовах максимізація прибутку мо-

же виступати як критерій оцінки ефективності використання активів підприємства, а не як головна мета фінансового менеджменту. Як стратегічна, задача максимізації прибутку не може використовуватися підприємством. Крім того прагнення максимізувати прибуток призводить до ігнорування ризиків, що супроводжують одержання цього прибутку. Бізнес, орієнтований на тривалу присутність на ринку, прагне до оптимального прибутку, з урахуванням компромісу між ризиком і прибутковістю. При такому підході здійснюється мінімізація максимальних витрат, ризику і максимізація ефекту, тобто здійснюється мінімаксна стратегія реструктуризації.

Підтримка стратегії зростання ринкової вартості підприємства як головної мети фінансового менеджменту дозволяє уникнути протиріччя між довгостроковими і короткостроковими цілями підприємства, об'єднати такі цільові функції, як прибутковість і ризик. Зростання вартості підприємства найбільшою мірою відповідає цілям акціонерів, не суперечить цілям інших носіїв інформації і є цільовою функцією системи управління фінансами підприємства. Головна ідея управління вартістю підприємства – це обґрунтованість операційних, інвестиційних і фінансових рішень на економічному фундаменті. Цим фундаментом має бути рух грошових потоків, управління грошовими ресурсами з метою одержання максимальної економічної віддачі.

Останнім часом питання про необхідність збільшення ринкової вартості й інвестиційної привабливості підприємства піднімається керівниками вітчизняних підприємств. У 2000–2003 рр. намітилася позитивна тенденція зростання інвестиційної привабливості українських підприємств у цілому і поліпшення інвестиційного іміджу України для іноземних інвесторів і кредиторів, що є наслідком поліпшення ситуації в бюджетній сфері, активізації проведення структурних реформ в економіці країни.

Між дисконтованими грошовими потоками в розрізі операційної діяльності і ринковою вартістю підприємства існує стійка залежність. Так, наприклад, зростання оборотних активів, насамперед унаслідок зростання дебіторської заборгованості, перебиває суму чистого прибутку й амортизаційних відрахувань і викликає додаткову потребу в позиковому фінансуванні, що може призвести до зниження ринкової вартості підприємства.

Тому проблема ув'язування управління ринковою вартістю і управління операційними

грошовими потоками підприємства, є досить актуальною в короткостроковому аспекті з позиції забезпечення ліквідності підприємства. Аналіз результатів досліджень як вітчизняних, так і закордонних учених, дозволяє зробити висновок, що комплексний підхід до проблеми зростання ринкової вартості підприємства в системі «управління оборотним капіталом – управління операційними грошовими потоками – управління ринковою вартістю підприємства» можна розглядати як заставу успішного фінансового менеджменту. Тому ефективність управління операційними грошовими потоками може стати фактором управління вартістю підприємства.

Ефективне управління операційними грошовими потоками безпосередньо пов'язано з внутрішнім темпом зростання підприємства. Найбільш важливим обмеженням запланованого внутрішнього темпу зростання є темп зростання власного капіталу, обумовлений рентабельністю власного капіталу і часткою чистого прибутку, спрямованого на накопичення [1, С. 561–565; 4, С. 235–240; 5, С. 81–86; 6, С. 228–232].

Можна, таким чином, стверджувати, що за допомогою ефективного управління операційними грошовими потоками вирішуються задачі забезпечення фінансової стійкості, економічного зростання і підвищення інвестиційної привабливості підприємства для інвесторів і кредиторів.

Взагалі прийняття рішень по управлінню операційними грошовими потоками супроводжується пошуком компромісу між прибутковістю і ризиком. Вихідним моментом концепції пошуку компромісу між прибутковістю і ризиком є гіпотеза ефективного ринку, що припускає відображення в цінах на ринку усієї відомої інформації. Теорія управління фінансами розглядає прибутковість і ризик як дві взаємозалежні категорії: порівняння ризику з прибутковістю має на меті максимізацію капіталу власників [7, С. 53; 8, С. 76–78].

Взаємозв'язок прибутковості і ризику, що визначає рішення по управлінню операційними грошовими потоками, знаходить висвітлення в результативних показниках фінансово-господарської діяльності і рості ринкової вартості підприємства.

Можна виділити такі умови мінімізації фінансового протиріччя з позиції управління операційними грошовими потоками підприємства:

1. Ефективна стратегія фінансування оборотних активів підприємства з орієнтацією на «золоте правило» фінансування: максимально можливе збільшення терміну погашення креди-

торської заборгованості без порушення сформованих ділових відносин з контрагентами й іміджу підприємства.

2. Гнучке реагування рішень по управлінню операційними грошовими потоками на зміни зовнішнього і внутрішнього середовища.

3. Неможливість постійної підтримки фінансової рівноваги в режимі реального часу внаслідок конкурентного характеру короткострокових і довгострокових цілей підтримки фінансової рівноваги [7, С. 53].

Питання оцінки прибутковості і ризику управління операційними грошовими потоками підприємства є малодослідженим, насамперед через оцінку ефективності управління операційними грошовими потоками за допомогою розрахунку традиційно використовуваних коефіцієнтів ліквідності і ділової активності. Зазначені коефіцієнти є необхідними, але недостатніми елементами фінансової стійкості підприємства і не можуть об'єктивно характеризувати ефективність управління грошовими потоками через жорстко регламентовану оцінку результатів минулої діяльності підприємства на основі інформаційної бази за даними бухгалтерської звітності [9, С. 224–232; 10, С. 80–81]. У питанні оцінки прибутковості і ризику управління операційними грошовими потоками важливо врахувати такі фактори, як достатність і стійкість операційного грошового потоку.

Необхідність удосконалення методів оцінки та управління операційними грошовими потоками обумовлена потребою у формуванні й обґрунтуванні системи показників ефективності управління цими грошовими потоками, а також розробці показників ефективності, що мають стратегічний характер. У стратегічному аспекті оцінка управління операційними грошовими потоками повинна бути побудована на розробці сценаріїв майбутнього розвитку підприємства.

Удосконалення методів управління операційними грошовими потоками в розрізі розглянутих ключових питань сприяє підвищенню якості управління підприємством і, в остаточному підсумку, зростання ринкової вартості підприємства.

Висновок

Підводячи підсумок аналізу методологічних підходів до управління операційними грошовими потоками, можна зробити такі висновки:

1. Економічне зростання і підвищення інвестиційної привабливості вітчизняних підприємств вимагають удосконалювання науково-практичних підходів до управління фінансами

на підприємствах. У процесі удосконалення системи управління фінансами, впровадження вартісних принципів на підприємстві одним з основних об'єктів аналізу і стратегічного управління повинні стати операційні грошові потоки. Неефективність фінансового менеджменту вітчизняних підприємств, що виявляється в уповільнених темпах платіжного обороту і недосконалих методах управління операційними грошовими потоками, розглядається як найбільш важлива проблема управління оборотним капіталом підприємств у сучасних умовах.

2. Управління операційними грошовими потоками підприємства пропонується розглядати системно й послідовно: «управління оборотним капіталом – управління операційними грошовими потоками – управління ринковою вартістю підприємства».

3. Рішення по управлінню операційними грошовими потоками супроводжуються пошуком компромісу між ризиком і прибутковістю, що в остаточному підсумку впливає на ринкову вартість підприємства.

4. На підставі аналізу наукових аргументів конкретизована кінцева мета управління операційними грошовими потоками: орієнтація на зростання ринкової вартості підприємства. Вартісний підхід до управління операційними грошовими потоками дозволяє порівняти й об'єднати цільові функції прибутковості і ризику.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бланк И. А. Управление активами. – К.: Ника-Центр, 2000 – 720 с.
2. Коласс Б. Управление финансовой деятельностью предприятия. Проблемы, концепции и методы: Учеб. пособие / Пер. с франц. под ред. проф. Я. В. Соколова. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1997. – 576 с.
3. Круглов М. И. Стратегическое управление компанией. Учебник для ВУЗов. – М.: Русская Деловая литература, 1998. – 768 с.
4. Финансовый менеджмент: теория и практика: Учебник / Под ред. Е. С. Стояновой – М.: Перспектива, 1996. – 405 с.
5. Хорин А. Н. Раскрытие существенной информации в бухгалтерской отчетности // Бухгалтерский учет. – 1999. – № 9. – С. 81–86.
6. Шеремет А. Д. Финансы предприятий / А. Д. Шеремет, Р. С. Сайфулин – М.: ИНФРА-М, 1998. – 343 с.
7. Белолипецкий В. Г. Проблемы разрешения основного финансового противоречия: теоретические возможности и реальная практика // Финансы. – 1999. – № 12. – С. 52–54.
8. Брейли Р. Принципы корпоративных финансов / Р. Брейли, С. Майерс; Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 1997. – 1120 с.
9. Бочкарев А., Семь нот менеджмента / А. Бочкарев, В. Кондратьев и др.; Под ред. В. Красновой и А. Привалова. – 5-е изд., доп. – М.: ЗАО «Журнал-Эксперт», 2001. – 656 с.
10. Фатеевский В. Н. Об анализе оборотных средств // Бухгалтерский учет. – 1997. – № 2. – С. 80–81.

Надійшла до редколегії 27.09.2004.

Наукове видання

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

Випуск 6
Українською, російською та англійською мовами

Відп. за випуск *І. П. Корженевич*,
Комп'ютерна верстка *Я. І. Заїць*,
Коректори *Т. В. Щепоткіна, Т. В. Мацкевич*

Здано до набору 18.04.2005. Підписано до друку 29.04.2005. Формат 60×84 1/8.
Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 27,23.
Обл.-вид. арк. 28,15. Тираж 150 прим. Замовлення № 961 Видавн. № 44.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003