

06
254

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

**Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Випуск 24

**Дніпропетровськ
2008**

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 24

Дніпропетровськ
2008

Редакційна колегія:

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

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

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 29.09.2008, протокол № 2

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка
В53 В. Лазаряна. – Вип. 24. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна,
2008. – 247 с.

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

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

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

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

ББК 39.2

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

Е. П. БЛОХИН, М. Л. КОРОТЕНКО, Р. Б. ГРАНОВСКИЙ, Н. Я. ГАРКАВИ, Е. Ф. ФЕДОРОВ (ДИИТ), Е. И. ФИЛИППЕНКО (Ленинский районный в городе совет, Днепропетровск), О. Н. ЛИТВИНЕНКО (ИСЦ ГП «Приднепровская железная дорога», Днепропетровск) О КОНЦЕПЦИЯХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	7
О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ (ДІТ), І. М. ГРУЩАК (Укрзалізниця) ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДИКИ ПОРІВНЯННЯ ЇХ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ	18
С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), Н. Е. НАУМЕНКО (ИТМ НАН и НКА Украины, Днепропетровск), А. А. НИКИТЧЕНКО (ООО «ГСКБВ», Мариуполь) ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФРИКЦИОННО-ПОЛИМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА	25

РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

Д. М. КОЗАЧЕНКО, Р. В. ВЕРНИГОРА, М. І. БЕРЕЗОВИЙ (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЙ НА ТРИВАЛІСТЬ ОПЕРАЦІЙ ПО ЇХ ПІДГОТОВЦІ ДО РОЗПУСКУ	34
Л. М. ЛОБОЙКО (Укрзалізниця), С. В. МЯМЛИН, А. Л. ПУЛАРИЯ (ДІТ) НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ	38
В. В. МЯМЛИН (ДИИТ) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ РАБОТЫ РЕМОНТНЫХ МОДУЛЕЙ ПОТОЧНОЙ ВАГОНРЕМОНТНОЙ ЛИНИИ С ГИБКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ	44

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

Д. О. БОСИЙ (ДІТ) ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ ЗМІННОГО СТРУМУ	49
И. Л. ВАСИЛЬЕВ, М. Е. ПАВЛИЧЕНКО (УрГУПС, Екатеринбург, Российская Федерация) СТОЙКА ОПОРЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ К ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ	55
О. О. КАРЗОВА (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗМІНИ СТРУМУ В КОЛАХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ	57
Е. Д. КИМ, В. Г. СЫЧЕНКО (ДИИТ), В. Н. ТАРАН (ООО ЕС-ПОЛИМЕР) МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТАРЕЛЬЧАТЫХ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ	61
П. О. ЛОЗА (Придніпровська залізниця) ВПЛИВ НАМАГНІЧУВАЛЬНОГО СТРУМУ ТРАНСФОРМАТОРА ТА КОМУТАЦІЇ ТИРИСТОРІВ НА КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ СТАТИЧНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ УНІФІКОВАНИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ	67
А. М. МУХА (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОБ'ЄМУ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	71
М. Е. ПАВЛИЧЕНКО (УрГУПС, Екатеринбург, Российская Федерация) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО УЗЛА ТОКОПРИЕМНИКА	78

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

К. Ц. ГЛАВАЦЬКИЙ, В. Е. ЧЕРКУДІНОВ (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІБРОТРАМБІВКИ ҐРУНТУ НА ПЛОСКІЙ ПОВЕРХНІ	80
Г. Г. КВАНТАЛИАНИ (Грузинский технический университет, Тбилиси), И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ), Т. Г. ТОДУА (Marabda-Kartsakhi Railway, Грузия), Б. И. ТОРОПОВ (Киевгипротранс) ОЦЕНКА ПЕРЕГРЕВА КОМПОЗИЦИОННЫХ КОЛОДОК НА ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ	82
И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ) МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ СПОСОБ СЪЕМКИ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ	85
М. Б. КУРГАН, О. С. ЧЕРНИШОВА (ДІТ) ВПЛИВ ПРОПУЩЕНОГО ТОННАЖУ ТА ПЛАНУ ЛІНІЇ НА ВИТРАТИ ПРИ ПОТОЧНОМУ УТРИМАННІ КОЛІЇ	88
В. В. РИБКІН, О. М. ПАТЛАСОВ, М. А. АРБУЗОВ (ДІТ) ВКЛАДАННЯ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ НА ОЗДОРОВЛЕНОМУ ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНІ	91
В. В. РИБКІН, В. В. ЦИГАНЕНКО, О. В. ГУБАР (ДІТ), Н. В. ХАЛІПОВА (Академія митної служби України, Дніпропетровськ) АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ РОЗСЛІДУВАННЯ СХОДІВ РУХОМОГО СКЛАДУ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 м	94

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ, И. В. КАЛАШНИКОВ (ДИИТ) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ ЗОНЫ АЭРАЦИИ	100
І. В. МАМЧУК (Шосткінський інститут Сумського державного університету) ВРАХУВАННЯ ПИТАНЬ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В ПРОЦЕСІ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ПІДПРИЄМСТВ	103
И. В. НОВИКОВА (Шосткинский институт Сумского государственного университета) РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА	108
І. О. ПРИГАРА (Шосткінський інститут Сумського державного університету) ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕТАПІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТОВАРІВ	112
О. А. СПАСЬКА, С. В. ІВАНОВ (Національний авіаційний університет, Київ) ФТОРЕНЗИДОВМІСНЕ ПЛІВКОУТВОРЮЮЧЕ ПОКРИТТЯ ЯК ЗАСІБ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛЕГКИХ ФРАКЦІЙ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СПОЛУК В РЕЗЕРВУАРАХ	116

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

О. І. БЕЗБАБІЧЕВА, М. В. РОЗЕНФЕЛЬД, О. Г. КІСЛОВ (Харківський національний автомобільно-дорожній університет) ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ І НАПРУЖЕНЬ В МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ З ДОРОЖНІМ ОДЯГОМ ВІД КЛІМАТИЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВПЛИВІВ	122
В. И. БОЛЬШАКОВ, Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО, Ю. Н. ФЕДОРЧЕНКО, Л. С. САВИН, Е. Ю. САВИН (ПГАСА) ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ГРУНТОВЫХ ЭМАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДИАГОНАЛЬНОЙ АНАЛОГИИ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГОМОЛОГИИ ЭЛЕМЕНТОВ	124
А. Л. ЗАКОРА, С. В. КЛЮЧНИК, В. В. МАРОЧКА (ДИИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКЕ ДВУХПРОЛЁТНОГО НЕРАЗРЕЗНОГО ПРОЛЁТНОГО СТРОЕНИЯ	131
О. М. ПІШНЬКО, А. В. КРАСНЮК, О. В. ГРОМОВА (ДІТ), В. В. ПАЛІЙ (Укрзалізниця) ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕМОНТНИХ СОСТАВІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ РЕМОНТІ БУДІВЕЛЬ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД НА ТРАНСПОРТІ	134
А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ) СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАТРИЦ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ МНОГОМЕРНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ	139

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

В. А. АНДРЮЩЕНКО (ДИИТ)

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ НЕЧЕТКИХ ВЕЛИЧИН
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ..... 146

А. А. БАРДАСЬ (ДИИТ)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ
С УЧЕТОМ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ..... 150

Т. В. БУТЬКО, Г. С. БАУЛІНА (УкрДАЗТ, Харків)

ПІДХОДИ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПРИКОРДОННИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ
РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ 153

В. М. ИЛЬМАН, М. В. СКАЛОЗУБ (ДИИТ)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕСНЫХ ПАР С РЕЛЬСАМИ ПУТИ..... 158

Т. Ф. МИХАЙЛОВА (ДІТ), О. В. ПІСКУНОВА (КНЕУ ім. В. Гетьмана, Київ),

А. А. ЗАКІН (Дніпропетровська державна фінансова академія)
МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗВЕДЕНОГО БЮДЖЕТУ УКРАЇНИ ВІД АГРЕГОВАНОЇ
ПОДАТКОВОЇ СТАВКИ..... 163

Л. А. ПАНИК (ДИИТ)

АНАЛИЗ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ
С УЧЕТОМ ИНТЕРВАЛЬНЫХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ..... 167

**В. В. СКАЛОЗУБ, С. Ю. РАЗУМОВ (ДИИТ), В. Вл. СКАЛОЗУБ (Днепропетровский государственный
аграрный университет)**

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МНОГОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ 172

В. В. СКАЛОЗУБ, К. С. ФОКША (ДИИТ)

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ВОЗВРАТА ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ
С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ СУТОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ 179

М. С. ЧЕРЕДНИЧЕНКО (ДИИТ)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ФОНДОВ ОПЕРАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА..... 185

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

І. О. ВАКУЛЕНКО (ДІТ)

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПО ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС
ВІД ТИПУ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ 192

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ), О. Н. ПЕРКОВ (ИЧМ НАНУ, Днепропетровск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС
С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ..... 195

И. А. ВАКУЛЕНКО, С. А. ПЛИТЧЕНКО (ДИИТ)

ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ..... 197

М. А. ГРИЩЕНКО (ДІТ)

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС 199

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

Ю. С. БАРАШ, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДІТ)

РОЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА 201

В. С. ВЛАСЮК (ДІТ)

ЩОДО ФАКТОРІВ УПРАВЛІННЯ ФІСКАЛЬНОЮ ПОЛІТИКОЮ У РЕГУЛЮВАННІ
МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ 207

О. М. ГНЕННИЙ (ДІТ) ОЦІНКА ПОРІВНЯЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ З РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ МІСЦЬ	209
О. Г. ДЕЙНЕКА, О. О. МІЩЕНКО (УкрДАЗТ, Харків) ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДЕРЖАВНОЇ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	214
Е. В. ДИКАНЬ (УкрГАЗТ, Харків) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА УКРАИНЫ	217
Ю. Є. КАЛАБУХІН (УкрДАЗТ, Харків) ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	221
М. Е. КОЖУШКІН, Л. М. САВЧУК (НМетАУ, Дніпропетровськ) ВПЛИВ МОДЕЛІ ЦІНОУТВОРЕННЯ ТРУБНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	226
Г. О. КОРОЛЬ, Ю. Т. ТРУШ (НМетАУ, Дніпропетровськ) ЕКОНОМІЧНА СУТНІСТЬ СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТІВ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ	231
М. Т. КОСТИШИНА, О. С. СУЩЕНКО (ЛДФА, Львів) ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ НАКОПИЧЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО РЕСУРСУ	237
В. І. РОМАНКО, О. В. РОМАНКО (ДІТ) ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	241
Р. В. САВЧУК (НМетАУ, Дніпропетровськ) КЛАСИФІКАЦІЯ І ДІАГНОСТИКА РЕГІОНАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФАСЕТНОГО АНАЛІЗУ	243

Е. П. БЛОХИН, М. Л. КОРОТЕНКО, Р. Б. ГРАНОВСКИЙ, Н. Я. ГАРКАВИ,
Е. Ф. ФЕДОРОВ (ДИИТ), Е. И. ФИЛИППЕНКО (Ленинский районный в городе совет,
Днепропетровск), О. Н. ЛИТВИНЕНКО (ИСЦ ГП «Приднепровская железная дорога»)

О КОНЦЕПЦИЯХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Описано чотири концепції статистичних вимірів та методики обробки спостережень, які реалізують ці концепції; наведено приклади, в яких продемонстровано випадки правомірного і неправомірного використання при вирішенні виробничих задач результатів, отриманих по цих методиках.

Описаны четыре концепции статистических измерений и реализующие эти концепции методики обработки наблюдений; приведены примеры, в которых продемонстрированы случаи правомерного и неправомерного использования при решении производственных задач результатов, полученных по этим методикам.

There are described four concepts of the statistical measurements and the methods realizing these concepts for processing the observations. There are adduced the examples in which correct and incorrect using of the results obtained by this methods for solutions of the industrial problems are demonstrated.

Постановка проблемы в общем виде

Многие производственные задачи решаются на основании результатов статистической обработки предварительно собранной в испытаниях информации. Зачастую производственная задача ограничивается предъявлением какого-либо браковочного признака к испытанному изделию или доказательством того, что никаких браковочных признаков предъявить к испытанному изделию нельзя. При этом иногда браковочным признаком испытуемого изделия считается недопустимо высокая (или недопустимо низкая) вероятность появления какого-либо события, а иногда браковочный признак вырабатывается на основании сравнения статистической оценки измеряемой характеристики с наперед заданной константой или со статистической оценкой аналогичной характеристики другого изделия.

Отметим, что в испытаниях возможен и полный перебор, и репрезентативная (представительная) выборка производственных ситуаций (результаты, полученные в репрезентативной выборке, не противоречат результатам, которые гипотетически можно было бы собрать при полном переборе производственных ситуаций). В качестве примера полного перебора можно привести проверку включения и выключения электрической цепи выключателем. Репрезентативными, например, являются результаты форсированных испытаний. Иногда решение производственной задачи должно распространяться и на те производственные ситуации, которые в испытаниях не исследовались. В таких случаях говорят, что «серия испытаний»

была «незаконченной» или «недостаточно представительной».

В статье описаны четыре концепции статистических измерений, методики обработки наблюдений, реализующие эти концепции; приведены примеры, в которых продемонстрированы случаи правомерного и неправомерного использования при решении производственных задач результатов, полученных по этим методикам. Отметим, что, согласно ГОСТ 8.207-76 [1], измерением называется результат статистической обработки результатов наблюдений, а наблюдением называется получение каждого отсчёта, необходимого для последующей статистической обработки.

1. Определение вероятности попадания результата измерения в заданные границы

1.1. Постановка задачи. Задана выборка N

случайных чисел $\forall_{i=1}^N x_i$. Требуется определить

вероятность P того, что любое число из выборки попадает в заранее заданные (гарантированные, гарантийные) границы, т.е. что $x_i \in [x_n, x_k]$.

1.2. Решение задачи. Искомая вероятность равна отношению количества чисел, попавших в заданные границы, к объёму выборки

$$P = \frac{\forall_{i=1}^N \left(\sum_{x_n \leq x_i \leq x_k} 1 \right)}{N}. \quad (1.1)$$

1.3. Замечания.

Постановка задачи предполагает проверку попадания результатов каждого наблюдения в заданные границы при помощи шаблона. В противном случае гарантийные границы должны учитывать допустимую ошибку (точность) измерений (или сравнение наблюденных значений с допустимыми осуществляется с учётом возможной при данном способе измерений случайной ошибки) [2].

1.4. Ниже приведены примеры использования в стандартах концепции определения вероятности попадания результатов измерения в заданные границы.

1.4.1. Пример 1. Американский стандарт ASTM A496-95a [3] нормирует рифление арматурной проволоки: «не менее 3,5 и не более 5,5 деформаций (выступов или вмятин) на дюйм длины в каждом продольном ряду рифления». В том же стандарте [3] нормируется «предел прочности ≥ 585 МПа». Заданием допустимого процентного содержания каждого элемента нормируется химсостав сталей во многих стандартах [4, 5]. При этом конкретный метод контроля (а, значит, и допустимая ошибка измерения) в этих стандартах обычно не указывается. Обычно в стандартах оговаривается число образцов для испытаний, а иногда – и число образцов каждого образца. Зачастую стандарты требуют, чтобы все измеренные величины попали в свои гарантийные границы (т.е. отсутствие браковочных признаков нормируется при $P = 1$).

1.4.2. Пример 2. Некоторые стандарты [6] отсутствием браковочных признаков считают $P_1 = 1$ при N_1 числе измерений и (если $P_1 < 1$) $P_0 \leq P_2 < 1$ при $N_2 > N_1$ числе измерений (P_0 – нормативная минимально допустимая вероятность, при которой еще нельзя предъявлять браковочные признаки к испытанному изделию). Например, международный стандарт ISO 10544 [5], нормируя испытания партии арматурной проволоки, при которых сопротивление разрыву должно быть не менее заданной величины, считает отсутствием браковочных признаков $P_1 = 1$ при $N_1 = 15$ опытных образцов, а, если в первых 15-и опытах измеряемая величина выйдет за гарантийные пределы, то количество опытных образцов увеличивают до $N_2 = 60$ и при N_2 опытов браковочные признаки отсутствуют, если $P_2 \geq 29/30$. Надо думать, что гармонизированные с этим стандартом строительные нормы за счет коэффициента запаса допускают отсутствие в арматуре двух прутков из каждых 60-и.

1.4.3. Пример 3. В уже действующем документе [7] нормировался интервал, в который должны попасть все (т.е. с вероятностью $P = 1$) зарегистрированные в ходовых испытаниях коэффициенты динамики железнодорожного подвижного состава. При этом класс точности измерительной аппаратуры нормировался, а случайные ошибки в испытаниях считались невозможными. Принципиально это не противоречит здравому смыслу: руководитель испытаний несёт ответственность за все результаты. От руководителя испытаний можно потребовать, чтобы он гарантировал отсутствие ошибочного (случайного) выхода значений коэффициента динамики за границы интервала допустимых значений. Теоретически опыт, в котором был зарегистрирован выход значений коэффициента динамики за границы интервала, можно многократно повторить, добившись при этом повторения браковочного результата.

2. Выравнивание закона распределения (в том числе по недостаточно представительным выборкам)

2.1. Постановка задачи. Задана выборка N случайных чисел $\forall x_i$. Требуется определить:

какое значение случайной величины x_p соответствует заданной вероятности P («вероятности безотказной работы»). Другими словами, требуется определить квантиль вероятности безотказной работы при бесконечном количестве наблюдений.

2.2. Решение задачи.

Предполагаем, что нам известен закон распределения случайной величины, выборкой значений которой мы располагаем. Выравниваем имеющееся у нас распределение случайной величины этим известным законом распределения [1, 8]. Для этого необходимо определить математическое ожидание m , дисперсию σ^2 и (иногда) некоторые константы выравнивающего закона. В формулу, описывающую выравнивающий закон распределения, подставляем необходимые характеристики (математическое ожидание, дисперсию, ...) выравнивающего закона. Из полученного выражения определяем выравнивающие дифференциальный $f(x)$ и интегральный $F(x)$ законы распределения. В интегральном законе распределения определяем квантиль x_p , соответствующий вероятности P . Описанные выше процедуры соответст-

вуют следующей вычислительной схеме [8, 9].

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2,$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2. \quad (2.1)$$

Здесь \bar{x} - среднее; s - смещённая, а S - не смещённая оценка среднего квадратичного.

Для выравнивающего нормального закона распределения справедливо [1, 8, 9]

$$\bar{x} - |t(N-1)|_{1-\alpha} \frac{S}{\sqrt{N}} \leq m \leq \bar{x} + |t(N-1)|_{1-\alpha} \frac{S}{\sqrt{N}}, \quad (2.2)$$

где $|t(N-1)|_{1-\alpha}$ - квантиль t -распределения Стьюдента с $(N-1)$ степенью свободы для двухсторонней доверительной вероятности $(1-\alpha)$. Допускается определять пределы величины m из выражения [2, 8, 9]

$$\bar{x} - |u|_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \leq m \leq \bar{x} + |u|_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (2.3)$$

где $|u|_{1-\alpha}$ - квантиль нормального распределения для двухсторонней доверительной вероятности $(1-\alpha)$. Если исходная выборка является представительной выборкой из генеральной совокупности, распределённой по нормальному закону, справедливо [8, 9]

$$\frac{s \cdot \sqrt{N}}{\sqrt{\chi_{1-\alpha}^2(N-1)}} \leq \sigma \leq \frac{s \cdot \sqrt{N}}{\sqrt{\chi_{\alpha}^2(N-1)}}, \quad (2.4)$$

где $\chi_{\alpha}^2(N-1)$ - квантиль χ^2 -распределения с $(N-1)$ степенью свободы для односторонней доверительной вероятности α , при которой $\chi_{\alpha}^2(N-1) < \chi^2 \leq \chi_{1-\alpha}^2(N-1)$.

Для любого выравнивающего закона распределения справедливо [8, 9]

$$x_p : \left\{ F(x_p) = \int_{-\infty}^{x_p} f(x) dx = P \right\}. \quad (2.5)$$

2.3. Замечания.

В общем случае законность описанного выше выравнивания необходимо доказать (например, по критерию Колмогорова) [1, 8]. Для недостаточно представительной выборки («незавершённой серии испытаний») доказывать законность выравнивания необязательно [10].

Если обработчик может доказать, что его выборка состоит из случайных чисел, соответствующих более, чем одному, закону распределения (т.е. в исходной выборке присутствуют числа, соответствующие разным значениям аргументов неполностью наблюдаемой системы [11]), то из исходной выборки можно «выбросить» значения, не соответствующие выравнивающему закону распределения. Это допустимо, например, когда есть сомнения в правильности получения отдельных значений в выборке [1]. В общем случае не допустимо «выбрасывать» значения случайной величины, не соответствующие выравнивающему закону распределения.

Вместо выравнивающего закона иногда можно воспользоваться аппроксимирующим законом (например, нормальным или равномерным). Такая аппроксимация иногда допустима (например, «в запас»), если полученный в результате квантиль x_p не смягчает эксплуатационные требования к испытываемому объекту.

Если есть уверенность, что исходная выборка представляет собой представительную выборку из генеральной совокупности, распределённой по нормальному закону, допустимо определять искомый квантиль $x_{\max} \approx x_p$ из выражения [9]

$$\frac{x_{\max} - \bar{x}}{s} = r(N-2)_P, \quad (2.6)$$

где $r(N-2)_P$ - квантиль r -распределения [9] с $(N-2)$ степенями свободы, соответствующий вероятности P .

2.4. Иногда производственная задача заканчивается определением величины x_p (x_{\max}). При обработке результатов испытаний по описанной выше методике браковочным признаком испытанного изделия может быть (например) условие $x_p > x_0$, где x_0 - заданная в соответствующем стандарте константа.

Существуют ещё две производственные задачи, решаемые при помощи описанной выше вычислительной схемы.

2.4.1. Сертификация производства (т.е. контроль стабильности значений m и σ). Фактически необходимо контролировать попадание m и σ в области своих гарантийных значений (с учётом точности измерений). Однако, вместо этого (или вместо контроля значений σ) допускается контролировать отсутствие значений x_i , не соответствующих нормальному закону распределения с фиксированными m и σ (см. часть 6 документа [12]).

2.4.2. Определение пределов неопределённости измерений. Предельные значения случайной, нормально распределённой ошибки измерений $\pm |u|_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, согласно международному стандарту [2], определяются в соответствии с выражением (2.3) для доверительной вероятности $(1 - \alpha) = 0,95$ фактически при $\sigma = \sigma_{\max}$, определённом по формуле (2.4).

Ниже приведены примеры оправданного и неоправданного использования описанной выше методики при решении производственных задач.

2.5. Пример 1. Оправданное выравнивание экспериментального распределения нормальным законом распределения.

Добраться от СШ № 106 до ПТУ № 54 в Днепропетровске можно различным городским транспортом, обязательно с пересадками и участками пути, которые необходимо пройти пешком. Необходимо определить, с каким запасом времени необходимо ежедневно, в одно и то же время выходить из школы, чтобы не опоздать в ПТУ.

Ниже представлена выборка длительностей «путешествия» от школы до ПТУ в течение 29 дней: 1 час 25 мин, 1 час 17 мин, 1 час 23 мин, 1 час 28 мин, 1 час 15 мин, 1 час 22 мин, 1 час 20 мин, 1 час 35 мин, 1 час 11 мин, 1 час 22 мин, 1 час 17 мин, 1 час 15 мин, 1 час 24 мин, 1 час 13 мин, 1 час 25 мин, 1 час 10 мин, 1 час 23 мин, 1 час 25 мин, 1 час 20 мин, 1 час 20 мин, 1 час 20 мин, 1 час 15 мин, 1 час 23 мин, 1 час 10 мин, 1 час 19 мин, 1 час 26 мин, 1 час 15 мин, 1 час 21 мин, 1 час 27 мин.

Допустим, что опоздать на работу можно не чаще 1-го раза в 2 месяца. Т.е.

$$1 - P \approx \frac{1}{22 + 23} = 0,022222... \text{ Что следует из сле-}$$

дующих соображений. В течение месяца должно быть 8...10 выходных (за 4 недели и 2...3 дня), если в этом месяце не было праздников. Будем считать, что выходных - 8. Это самый худший случай, т.к. больше всего дней нельзя опаздывать. Очевидно, если в месяце 30 дней, то рабочих дней $30 - 8 = 22$, если в месяце 31 день, то рабочих дней $31 - 8 = 23$.

Поскольку в интегральном распределении, построенном на основании экспериментальной

выборки, $\bigcup_{i=1}^N F_{\text{экс}}(x_i) = 1$, а в нормальном рас-

пределении $\bigcap_{x < \infty} F(x) < 1$, для тех значений ар-

гументов, при которых $F(x) \rightarrow 1$, экспериментальное распределение можно аппроксимировать нормальным законом, считая экспериментальную выборку незаконченной серией испытаний [9].

2.5.1. Согласно изложенной выше схеме ((2.1), (2.2), (2.4)) $\bar{x} = 1$ час 20,207 мин; $s = 5,720$ мин; $S = 5,821$ мин (в промежуточных вычислениях будем удерживать три знака после запятой). Примем вероятность ошибиться при определении m и σ равной $\alpha = 0,01$. Тогда $|t(N-1)|_{1-\alpha} = |t(28)|_{1-0,01} = 2,763$. Очевидно:

$$|t(N-1)|_{1-\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} = 2,763 \cdot \frac{5,821}{\sqrt{29}} = 2,987 \text{ мин;}$$

$$1 \text{ час } 17,220 \text{ мин} \leq m \leq 1 \text{ час } 23,194 \text{ мин. (2.7)}$$

Для односторонней вероятности $\alpha = 0,01$ при $N = 29$ определим квантили $\chi^2_{1-\alpha}(N-1) = \chi^2_{1-0,01}(28) = 48,278$ и $\chi^2_{\alpha}(N-1) = \chi^2_{0,01}(28) = 13,565$. Очевидно:

$$\frac{5,720 \cdot \sqrt{29}}{\sqrt{48,278}} \leq \sigma \leq \frac{5,720 \cdot \sqrt{29}}{\sqrt{13,565}}.$$

Или, что то же:

$$4,433 \leq \sigma \leq 8,363 \text{ мин. (2.8)}$$

2.5.2. Интересно отметить, что в данной конкретной задаче примерно такие же, как в (2.7), пределы неопределённости математического ожидания получаются согласно выражению (2.3):

$$|u|_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma_{\max}}{\sqrt{N}} = 2,326 \cdot \frac{8,363}{\sqrt{29}} = 3,612 \text{ мин;}$$

$$1 \text{ час } 16,595 \text{ мин} \leq m \leq 1 \text{ час } 23,819 \text{ мин.}$$

Здесь $\sigma_{\max} = 8,363$ мин соответствует выражению (2.8), согласно которому $\sigma_{\min} \leq \sigma \leq \sigma_{\max}$, а $|u|_{1-\alpha} = 2,326$ - квантиль нормального распределения для двухсторонней доверительной вероятности $(1 - 0,01)$ при $\alpha = 0,01$.

2.5.3. Согласно (2.5), вместо

$$F(x_p) = \int_{-\infty}^{x_p} f(x) dx = 1 - 0,0222 = 0,9778$$

по таблице [9] для $\Phi(U) = 0,4778$ определим $U = 2,845$, а затем найдём наибольшее значение x_p

$$x_{\max} = m_{\max} + U \cdot \sigma_{\max} =$$

$$= 1 \text{ час } 23,194 \text{ мин} + 2,845 \cdot 8,363 \text{ мин} \approx 1 \text{ час } 47 \text{ мин}$$

и наименьшее значение x_p

$$x_{\min} = m_{\min} - U \cdot \sigma_{\max} =$$

$$= 1 \text{ час } 17,220 \text{ мин} - 2,845 \cdot 8,363 \text{ мин} \approx 53 \text{ мин}.$$

2.5.4. Отметим, что, поскольку нас интересует только наибольшее значение x_p , достаточно было определить квантиль односторонней [1, 8] вероятности распределения Стьюдента

$$t(N-1)_{1-\alpha} = |t(N-1)|_{1-2\alpha} = |t(28)|_{1-0,02} = 2,467.$$

Тогда

$$m \leq m_m = 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 2,467 \cdot \frac{5,821}{\sqrt{29}} \text{ мин} =$$

$$= 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 2,667 \text{ мин} =$$

$$= 1 \text{ час } 22,874 \text{ мин}, \quad (2.9)$$

а наибольшее значение x_p

$$x_{\max} = m_m + U \cdot \sigma_{\max} =$$

$$= 1 \text{ час } 22,874 \text{ мин} + 2,845 \cdot 8,363 \text{ мин} \approx$$

$$\approx 1 \text{ час } 47 \text{ мин}.$$

2.5.5. Вычисленное согласно выражению (2.3) значение m_m

$$m \leq m_m = \bar{x} + u_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma_{\max}}{\sqrt{N}} =$$

$$= 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 2,053 \cdot \frac{8,363}{\sqrt{29}} \text{ мин} =$$

$$= 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 3,188 \text{ мин} = 1 \text{ час } 23,395 \text{ мин},$$

как и результат (2.9), в данном примере, мало отличаются от полученного согласно выражению (2.2) результата (2.7). Здесь $u_{1-\alpha} = |u|_{1-2\alpha}$ - квантиль нормального распределения для односторонней [8] доверительной вероятности $(1 - \alpha)$.

2.5.6. Интересно показать, как зависит результат расчёта от вероятности ошибиться при определении m и σ . Пусть $\alpha = 0,05$. Тогда

$$t(N-1)_{1-\alpha} = |t(N-1)|_{1-2\alpha} = |t(28)|_{1-0,10} = 1,701;$$

$$\chi_{\alpha}^2(N-1) = \chi_{0,05}^2(28) = 16,928;$$

$$m \leq m_m = 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 1,839 \text{ мин} =$$

$$= 1 \text{ час } 22,046 \text{ мин}, \quad (2.10)$$

$\sigma \leq 7,486 \text{ мин}$, наибольшее значение x_p

$$x_{\max} = m_m + U \cdot \sigma_{\max} \approx 1 \text{ час } 43 \text{ мин}.$$

2.5.7. Оценивая при $\alpha = 0,05$ математическое ожидание согласно выражения (2.3), получим примерно такое же значение m_m , как и в (2.10):

$$m \leq m_m = \bar{x} + u_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma_{\max}}{\sqrt{N}} =$$

$$= 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 1,281 \cdot \frac{7,486}{\sqrt{29}} \text{ мин} =$$

$$= 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 1,781 \text{ мин} = 1 \text{ час } 21,988 \text{ мин}.$$

Здесь $u_{1-\alpha} = |u|_{1-2\alpha} = 1,281$ - квантиль нормального распределения для односторонней доверительной вероятности $(1 - 0,05)$ при $\alpha = 0,05$.

2.5.8. Для нормального закона распределения при $P = 0,9778$ и $N = 29$ запас времени, необходимый, чтобы добраться от школы до ПТУ, можно определить в соответствии с выражением (2.6): $r(27)_{0,9778} = 2,97$ и $x_{\max} =$

$$= 1 \text{ час } 20,207 \text{ мин} + 5,720 \cdot 2,97 \text{ мин} \approx 1 \text{ час } 37 \text{ мин}.$$

Интересно, что этот результат заметно отличается от полученного из отношений (2.2), (2.4), (2.5). Возможно, выравнивание исходного распределения нормальным законом недостаточно обосновано.

2.5.9. Резюмируя результаты, полученные в п.2.5.1 и п.2.5.2, в п.2.5.4 и п.2.5.5, а также в п.2.5.6 и п.2.5.7, можно сказать, что в данной конкретной задаче доверительные интервалы математического ожидания, полученные по формулам (2.1), (2.2) и по формулам (2.1), (2.4), (2.3), оказались достаточно близкими. Также близкими оказались доверительные интервалы математического ожидания, полученные для односторонней и двусторонней вероятности распределения Стьюдента (п.2.5.3 и п.2.5.4). Достаточно близкими оказались доверительные интервалы математического ожидания, полученные для вероятности ошибки $\alpha = 0,01$ (п.2.5.3) и $\alpha = 0,05$ (2.5.6). Значение x_{\max} , полученное по формуле (2.6) в п.2.5.8, в данной задаче заметно отличается от значения x_{\max} , полученного по формуле (2.5) в п.2.5.3. Поскольку значение x_{\max} , полученное по формуле (2.5), по отношению к значению x_{\max} , полученному по формуле (2.6), оказалось «в запас», целесообразно именно его считать решением данной задачи.

2.6. Пример 2. Неудачное использование выравнивания экспериментального распределения нормальным законом распределения.

Российский стандарт СТ ССФЖТ ЦТ 15-98 [13] предписывает измерять коэффициент динамики локомотива следующим образом. Для конкретного диапазона скоростей, в каждой реализации длительностью не менее 10 с в криволинейном участке пути определяется максимальное замеренное значение коэффициента динамики (согласно стандарту [13], криволинейный участок начинается ещё в прямой, захватывает всю круговую или S-образную кривую, обе переходные кривые и заканчивается на прямой). Согласно стр. 21 стандарта [13], статистическое значение коэффициента динамики K_d в ансамбле из N реализаций определяется по наибольшим значениям в реализациях формулой $K_{d,max} = \overline{K_d} + 2\sigma$ (что в общем не противоречит выражению (2.6)). Здесь $\overline{K_d}$ - среднее в ансамбле значение K_d , а σ - несмещённая оценка среднего квадратического отклонения в ансамбле. Согласно стандарту [13], полученное значение $K_{d,max}$ сравнивается со своим критериальным значением $[K_d]$. Если $K_{d,max} > [K_d]$, локомотив бракуется.

При испытаниях пассажирского электровоза в режиме тяги на скоростях 100...115 км/ч в реализациях, зарегистрированных на криволинейных участках пути, были зафиксированы следующие максимальные по абсолютной величине значения коэффициента вертикальной динамики первой ступени подвешивания: 0,188; 0,259; 0,239; 0,254; 0,314; 0,270; 0,295; 0,205; 0,287; 0,189; 0,157; 0,091; 0,312; 0,152; 0,170; 0,093; 0,261; 0,082. Очевидно, что $\overline{K_d} = 0,2121$, $\sigma = 0,0762$, $K_{d,max} = 0,3645$. Т.к. согласно стандарту [13] для пассажирского локомотива $[K_d] = 0,35$, испытанный электровоз надо браковать (поскольку $K_{d,max} > 0,35$). Между тем, если из ансамбля реализаций исключить числа 0,091; 0,093; 0,082 (т.е. самые меньшие значения коэффициентов динамики среди всех кривых), электровоз требованиям стандарта [13] начинает удовлетворять, поскольку $\overline{K_d} = 0,2368$, $\sigma = 0,0559$ и $K_{d,max} = 0,3486 < 0,35$. Интересно, что электровоз находится в эксплуатации уже много лет, т.к. в свое время в соответствие требованиям «старой» нормативной документации забракован не был. И в эксплуатации этот электровоз себя зарекомендовал хорошо.

Возможно, в данном случае аппроксимация экспериментального распределения нормаль-

ным законом распределения недостаточно обоснована.

3. Статистика экспертных оценок

3.1. Постановка задачи. Задана выборка N случайных чисел (оценок исследуемого объекта или события) $\forall x_i$. Допускается, что какое-то

количество этих оценок необъективно. Требуется определить объективную оценку x_p в предположении, что эта оценка соответствует заданной вероятности P .

3.2. Замечание.

Существуют 2 варианта обработки исходной информации.

3.2.1. Отбросить те оценки, которые могут быть необъективными (предвзятыми).

3.2.2. Оставить те оценки, которые можно считать объективными (непредвзятыми).

Перечисленные варианты имеют принципиальное различие. При втором варианте обработки может оказаться, что вообще ничего не отброшено.

Отметим, что при обоих вариантах обработки отброшенная информация может быть связана с каким-то достаточно редким (но требующим учёта) событием и не обязательно связана с необъективностью оценок.

3.3. Решение задачи.

Рассортируем все оценки по возрастанию.

3.3.1. При первом варианте обработки отбросим $n = \text{int}(N \cdot (1-P))$ оценок. Если необъективность односторонняя, то отбрасываются только n наибольших или только n наименьших оценок. Если необъективность двусторонняя, то отбрасываются $n_{1/2} = \text{int}(N \cdot (1-P)/2)$ наибольших и $n_{1/2}$ наименьших оценок (соответственно принимается $n = 2n_{1/2}$). Здесь подразумевается, что $\text{int}(a)$ – целая часть, ближайшая к числу a . Теперь объективная средняя оценка определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^{N-n} x_i, \quad (3.1)$$

а объективная наименьшая и объективная наибольшая – это соответственно первая и последняя оценки среди оставшихся $(N-n)$ оценок.

3.3.2. При втором варианте обработки для монотонно возрастающего ряда

$\forall_{j=1}^M q_j \in [\min_{1 \leq i \leq N} (x_i), \max_{1 \leq i \leq N} (x_i)]$ строим распределение

$$\forall_{j=1}^M F(q_j) = p_j = \frac{\sum_{i: \{x_i \leq q_j\}} 1}{N} = \frac{\max_{x_i \leq q_j} (i)}{N} \quad (3.2)$$

(при этом можно считать, что

$$\forall_{j=1}^M F(q_j + 0) = F(q_{j+1}), \text{ а можно считать, что}$$

$$\forall_{j=1}^M F(q_j + 0) = F(q_j)).$$

При односторонней вероятности P наибольшим с вероятностью P будет

$$x_{\max, P} = \min_{p_j \geq P} (q_j) \quad (3.3)$$

и, соответственно, наименьшим с вероятностью P будет

$$x_{\min, P} = \max_{p_j < 1-P} (q_j). \quad (3.4)$$

При двусторонней вероятности P наибольшим и наименьшим с вероятностью P будут, соответственно

$$x_{\max, P} = \min_{p_j \geq 1-(1-P)/2} (q_j) = \min_{p_j \geq 1/2+P/2} (q_j), \quad (3.5)$$

$$x_{\min, P} = \max_{p_j < (1-P)/2} (q_j) = \max_{p_j < 1/2-P/2} (q_j). \quad (3.6)$$

Ниже приведены примеры (удачные и неудачные) применения концепции статистики экспертных оценок при решении различных (в основном, производственных) задач.

3.4. Пример 1. Отбрасывание необъективных данных (правильнее: отбрасывание того количества данных, которое может быть необъективным).

До появления электрофиксаторов [14] соревнования по фехтованию судили 7 судей. Бой у мужчин продолжался до 5-и уколов. Каждый судья фиксировал количество уколов (ударов), нанесенных противниками. После каждого укола при подсчёте отбрасывали самую высокую и самую низкую оценку преимущества одного фехтовальщика над другим, а по средней из оставшихся оценок определяли победителя.

3.5. Пример 2.

При обработке результатов ходовых испытаний железнодорожного подвижного состава согласно документам [15,16] для конкретного диапазона скоростей, в прямых участках пути (а также в кривых и при прохождении стрелок) коэффициенты динамики экипажа определяются с вероятностью 0,999. Очевидно, достаточно редкие события, при которых коэффициенты динамики выходили за пределы допустимых значений, в эту статистику не попадут. Повидимому, такой подход целесообразен для приёмочных испытаний, когда принципиально решается вопрос с оплатой выполненной изготовителем работы (при испытаниях могли возникнуть ситуации, не предусмотренные в техническом задании, утверждённом изготовителем и согласованном с покупателем). Однако вероятностный подход неприемлем для выработки эксплуатационных ограничений, связанных с безопасностью эксплуатации. Авторы статьи располагают информацией, когда в процессе ходовых испытаний на новых колесах один раз за 5000 км на пути отличного содержания при движении с разрешённой скоростью на стыках компенсационной вставки между двумя однонаправленными кривыми в связи с особенностями своей подвески испытываемый локомотив вышел за габарит по низу из-за возбуждённых колебаний галоупирования. Очевидно, что на изношенных колесах при эксплуатации локомотива без модернизаций такая ситуация (весьма редкая, но, как выяснилось, вполне возможная) может привести к крушению.

3.6. Пример 3. Неоправданное отбрасывание редко появляющихся (но регулярно повторяющихся) данных.

С вероятностью $P = 0,95$ измеряется выходное напряжение генератора прямоугольных импульсов. Длительность импульса $\Delta t \approx 0,1$ с. Амплитуда импульса $U \approx 20$ В. Повторяемость импульсов (время от переднего фронта одного импульса до переднего фронта следующего импульса) $\Delta T \approx 1$ мин = 60 с. Очевидно, вероятность замерить амплитудное значение напряжения $p = \Delta t / \Delta T \approx 0,0017 < (1 - P) = 0,05$. Таким образом, наибольшее с вероятностью 0,95 значение напряжения $x_{0,95} \approx 0$ В совершенно не соответствует амплитуде прямоугольных импульсов.

3.7. Пример 4. Неоправданное отбрасывание наибольших замеренных значений, не приведшее к значительным ошибкам.

Процесс, описываемый функциональной зависимостью $x(t) = \sin(2\pi t)$, при $0 \leq t \leq 1$ имеет интегральный закон распределения $F(x) = \frac{1}{2} + \frac{\arcsin(x)}{\pi}$. Определим $|x|_{0,90}$ статистически наибольшее значение $|x|$ для двусторонней доверительной вероятности $P=0,90$.

Очевидно, статистически наибольшее положительное значение аргумента $0 < x_{0,95} = |x|_{0,90}$ определится зависимостью

$$\frac{1}{2} + \frac{\arcsin(x_{0,95})}{\pi} = 0,95. \quad \text{Откуда}$$

$$x_{0,95} = \sin(0,45\pi) \approx 0,988. \quad \text{Поскольку}$$

$$\max_t(|x|) = \max_t(\sin(2\pi t)) = 1, \quad \text{относительная}$$

ошибка неоправданного отбрасывания наибольших замеренных значений при определении максимальных значений аргумента закона распределения $\varepsilon = \frac{1-0,988}{1} = 0,012$. Другими

словами, хотя концептуально нельзя считать допустимым отбрасывание амплитудных (неслучайных) значений синусоиды, статистически наибольшие с вероятностью $P = 0,95$ значения $x_{0,95} \approx 0,988$ незначительно (всего на 1,2 %) меньше амплитудных.

4. Сравнение статистических величин

4.1. Постановка задачи. Задана первая выборка из N_1 случайных чисел $\forall_{i=1}^{N_1} x_{(1),i}$ и вторая

выборка из N_2 случайных чисел $\forall_{i=1}^{N_2} x_{(2),i}$. Зада-

на вероятность P . Необходимо определить, можно ли на уровне вероятности P считать одну случайную величину большей, чем вторая.

4.2. Замечания.

Пусть $F_1(x)$ - интегральный закон распределения (выравнивающий) первой случайной величины, а $F_2(x)$ - интегральный закон распределения (выравнивающий) второй случайной величины. Вторую случайную величину на уровне вероятности P можно считать большей, чем первую, в двух случаях.

4.2.1. Когда интегральное распределение первой случайной величины достигает вероятности P при меньшем значении аргумента, чем аргумент, при котором интегральное распределение второй случайной величины достигает вероятности P [10]:

$$(F_1(x_{(1),P}) = P) \wedge (F_2(x_{(2),P}) = P) \wedge \wedge (x_{(1),P} < x_{(2),P}). \quad (4.1)$$

4.2.2. Когда интегральное распределение первой случайной величины достигает вероятности P при каком-то значении аргумента, то при этом значении аргумента интегральное распределение второй случайной величины вероятности P ещё не достигает [17]:

$$((F_1(x_{(1),P}) = P) \wedge (F_2(x_{(1),P}) < P)). \quad (4.2)$$

Теоретически вероятность P может быть любой, если $P \in (0; 1]$. Однако, как показано в главе 3 данной статьи, при неоправданно низкой вероятности P на сформированный по результатам обработки вывод может не повлиять достаточно редкая (но требующая учёта) информация.

4.3. Решение задачи.

Как и в п.3.3.2 данной статьи, рассортируем обе выборки по возрастанию, построим инте-

гральные распределения $\forall_{j=1}^2 F_{\text{экс},j}(x)$ обеих

случайных величин и согласно (3.3), (3.4) найдём значения аргументов, при которых построенные интегральные распределения пересекают линию $F_0(x) = P$: $X_1 = x_{(1),\max,P}$ и $X_2 = x_{(2),\max,P}$.

4.3.1. Методика сравнения статистических величин согласно выражения (4.1).

Как и в п.2.2 данной статьи для выборки с номером j (для j -й случайной величины), найдём \bar{x}_j - среднее; s_j - смещённую и S_j - несмещённую оценки среднего квадратичного:

$$\forall_{j=1}^2 \bar{x}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} x_{(j),i},$$

$$\forall_{j=1}^2 s_j^2 = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} (x_{(j),i} - \bar{x}_j)^2,$$

$$\forall_{j=1}^2 S_j^2 = \frac{1}{N_j - 1} \sum_{i=1}^{N_j} (x_{(j),i} - \bar{x}_j)^2. \quad (4.3)$$

Дальнейшее справедливо только в том случае, если выравнивающий (аппроксимирующий) закон распределения можно считать нормальным в области $x \geq X_1$.

Определим [8, 9]

$$\sigma_1 = \frac{s_1 \cdot \sqrt{N_1}}{\sqrt{\chi_{\alpha}^2(N_1 - 1)}}, \quad \sigma_2 = \frac{s_2 \cdot \sqrt{N_2}}{\sqrt{\chi_{1-\alpha}^2(N_2 - 1)}} \quad (4.4)$$

и

$$\bigvee_{j=1}^2 \Delta m_j = t(N_j - 1)_{1-\alpha} \cdot \frac{S_j}{\sqrt{N_j}}, \quad (4.5)$$

где $\chi_{\alpha}^2(N_j - 1)$ и $\chi_{1-\alpha}^2(N_j - 1)$ - квантили χ^2 -распределения с $(N_j - 1)$ степенью свободы для односторонних доверительных вероятностей α и $(1 - \alpha)$, а $t(N_j - 1)_{1-\alpha}$ - квантиль t -распределения Стьюдента с $(N_j - 1)$ степенью свободы для односторонней доверительной вероятности $(1 - \alpha)$.

В выражениях (4.4), (4.5) α - односторонняя вероятность того, что определяемые в формулах σ_1 и $\bigvee_{j=1}^2 \Delta m_j$ будут ещё больше, а σ_2 - ещё меньше.

По таблице [9] для $\Phi(U) = P - 0,5$ определим U .

Решение задачи можно записать следующим выражением [10]:

$$\begin{aligned} [x_{(1)} < x_{(2)}]_P &\Rightarrow \\ \Rightarrow \max(X_1 + \Delta m_1; \bar{x}_1 + \Delta m_1 + U \cdot \sigma_1) &< \\ < \min(X_2 - \Delta m_2; \bar{x}_2 - \Delta m_2 + U \cdot \sigma_2). \end{aligned} \quad (4.6)$$

В выражении (4.6) предполагается, что меньшее значение аргумента при обработке могло быть определено с недостатком, а большее значение аргумента - с избытком.

4.3.2. Методика сравнения статистических величин согласно выражения (4.2).

Определим вероятности, соответствующие аргументам X_1 и X_2 :

$F_{\text{экс},1}(X_1)$, $F_{\text{экс},1}(X_2)$, $F_{\text{экс},2}(X_1)$ и $F_{\text{экс},2}(X_2)$. Здесь предполагается, что $P \leq F_{\text{экс},1}(X_1) > F_{\text{экс},2}(X_1)$ и желательно, чтобы $P \leq F_{\text{экс},2}(X_2) \leq F_{\text{экс},1}(X_2)$.

Очевидно, что вероятности $F_{\text{экс},1}(X_1)$, $F_{\text{экс},1}(X_2)$, $F_{\text{экс},2}(X_1)$ и $F_{\text{экс},2}(X_2)$ определены с ошибкой, имеющей нормальный закон распределения. В таком случае, если вероятность p считать математическим ожиданием случайной величины, то среднее квадратическое этой слу-

чайной величины определится выражением $s^2 = p - p^2$, а $\max_{0 \leq p \leq 1} (s) = 0,5$. Теперь, в соответствии с [8],

$$\begin{aligned} [x_{(1)} < x_{(2)}]_P &\Rightarrow \\ \Rightarrow F_{\text{экс},1}(X_1) - F_{\text{экс},2}(X_1) &> \\ > \frac{\frac{s_1^2}{N_1} \cdot t_{1-\alpha}(N_1 - 1) + \frac{s_2^2}{N_2} \cdot t_{1-\alpha}(N_2 - 1)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

где α - вероятность ошибочно посчитать равными неравные на уровне вероятности P слу-

чайные величины $x_{(1)}$ и $x_{(2)}$, $\bigvee_{j=1}^2 t_{1-\alpha}(N_j - 1)$ -

квантили t -распределения Стьюдента,

$$s_1^2 = F_{\text{экс},1}(X_1) - (F_{\text{экс},1}(X_1))^2,$$

$$s_2^2 = F_{\text{экс},2}(X_1) - (F_{\text{экс},2}(X_1))^2. \quad \text{Выражение (4.7)}$$

«в запас» можно ужесточить [8]:

$$[x_{(1)} < x_{(2)}]_P \Rightarrow \frac{F_{\text{экс},1}(X_1) - F_{\text{экс},2}(X_1)}{0,5 \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} > u_{1-\alpha}.$$

Отметим, что для односторонней доверительной вероятности $(1 - \alpha) = 0,95$ квантиль $u_{1-\alpha} = 1,645$, а для $(1 - \alpha) = 0,98$ соответственно $u_{1-\alpha} = 2,054$ [8].

Желательно проверить, чтобы при значении аргумента $x = X_2$ нельзя было сказать, что для выравнивающих законов распределения $F_1(X_2) < F_2(X_2)$. Другими словами, желательно, чтобы при весьма маловероятном $F_{\text{экс},2}(X_2) > F_{\text{экс},1}(X_2)$ выполнялось отношение

$$\begin{aligned} F_{\text{экс},2}(X_2) - F_{\text{экс},1}(X_2) &\leq \\ \leq \frac{\frac{s_1^2}{N_1} \cdot t_{1-\alpha}(N_1 - 1) + \frac{s_2^2}{N_2} \cdot t_{1-\alpha}(N_2 - 1)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \end{aligned} \quad (4.8)$$

или хотя бы

$$\frac{F_{\text{экс},2}(X_2) - F_{\text{экс},1}(X_2)}{0,5 \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \leq u_{1-\alpha}.$$

В выражении (4.8)

$$s_1^2 = F_{\text{экс},1}(X_2) - (F_{\text{экс},1}(X_2))^2,$$

$$s_2^2 = F_{\text{экс},2}(X_2) - (F_{\text{экс},2}(X_2))^2.$$

Необходимо отметить, что методические указания [17] и Д. Химмельблау [18] предлагают вместо выражений (4.7), (4.8) пользоваться другими отношениями, не очень удобными для выборок объёмом 20 и больше чисел.

4.4. Пример. Ниже продемонстрированы обе методики сравнения случайных величин [10, 19].

В п.2.5 данной статьи описан один из способов добраться от СШ № 106 до ПТУ № 54 в Днепропетровске. Существует ещё и второй способ. Также различным городским транспортом, тоже с обязательными пересадками и участками пути, которые необходимо пройти пешком. Причём, описываемые маршруты нигде не пересекаются.

Ниже представлена выборка длительностей «путешествия» вторым маршрутом от школы до ПТУ в течение 36 дней: 1 час 5 мин, 1 час 44 мин, 1 час 21 мин, 1 час 25 мин, 1 час 15 мин, 1 час 7 мин, 1 час 23 мин, 1 час 8 мин, 1 час 35 мин, 1 час 24 мин, 1 час 12 мин, 1 час 41 мин, 1 час 23 мин, 1 час 18 мин, 1 час 32 мин, 1 час 45 мин, 1 час 25 мин, 1 час 23 мин, 1 час 21 мин, 1 час 16 мин, 1 час 30 мин, 1 час 28 мин, 1 час 40 мин, 1 час 28 мин, 1 час 20 мин, 1 час 35 мин, 1 час 33 мин, 1 час 15 мин, 1 час 16 мин., 1 час 30 мин, 1 час 17 мин, 1 час 8 мин, 1 час 15 мин, 1 час 12 мин, 1 час 12 мин, 1 час 48 мин.

Необходимо определить, каким маршрутом можно гарантировано быстрее добраться из школы до ПТУ.

4.4.1. Сравнение статистических величин согласно выражения (4.1).

Как и в п.2.5 данной статьи $P = 0,9778$, $U = 2,845$. Пусть $\alpha = 0,05$ – односторонняя вероятность ошибиться (в большую сторону для Δm_1 , Δm_2 , σ_1 и в меньшую сторону для σ_2).

Очевидно (см. п.2.5 настоящей статьи): $N_1 = 29$, $X_1 = 1$ час 35 мин, $\bar{x}_1 = 1$ час 20,207 мин, $s_1 = 5,720$ мин, $S_1 = 5,821$ мин, $\Delta m_1 = 1,839$ мин, $\sigma_1 = 7,486$ мин, $X_1 + \Delta m_1 = 1$ час 36,839 мин, $\bar{x}_1 + \Delta m_1 + U \cdot \sigma_1 = 1$ час 43,344 мин,

$$\max(X_1 + \Delta m_1; \bar{x}_1 + \Delta m_1 + U \cdot \sigma_1) =$$

$$= 1 \text{ час } 43,344 \text{ мин.}$$

Для второй выборки несложно определить: $N_2 = 36$, $X_2 = 1$ час 48 мин, $\bar{x}_2 = 1$ час 23,611 мин, $s_2 = 11,226$ мин, $S_2 = 11,385$ мин, $\Delta m_2 = 3,207$ мин, $\sigma_2 = 9,525$ мин, $X_2 - \Delta m_2 = 1$ час 44,793 мин, $\bar{x}_2 - \Delta m_2 + U \cdot \sigma_2 = 1$ час 47,503 мин,

$$\min(X_2 - \Delta m_2; \bar{x}_2 - \Delta m_2 + U \cdot \sigma_2) = 1 \text{ час } 44,793 \text{ мин.}$$

Поскольку 1 час 43,344 мин < 1 час 44,793 мин, т.е.

$$\max(X_1 + \Delta m_1; \bar{x}_1 + \Delta m_1 + U \cdot \sigma_1) <$$

$$< \min(X_2 - \Delta m_2; \bar{x}_2 - \Delta m_2 + U \cdot \sigma_2),$$

значит, $[x_{(1)} < x_{(2)}]_P$. Другими словами, согласно выражения (4.1) с вероятностью $1 - \alpha = 0,95$ можно сказать, что для того, чтобы с вероятностью $P = 0,9778$ не опоздать из школы в ПТУ, запас времени при «путешествии» вторым маршрутом должен быть больше.

4.4.2. Сравнение статистических величин согласно выражения (4.2).

Очевидно, что $N_1 = 29$, $X_1 = 1$ час 35 мин, $F_1(X_1) = 1$, $N_2 = 36$, $X_2 = 1$ час 48 мин, $F_2(X_1) = 32/36 = 0,8889$. Определим

$$s_1^2 = F_{\text{экс},1}(X_2) - (F_{\text{экс},1}(X_2))^2 = 0$$

и

$$s_2^2 = F_{\text{экс},2}(X_2) - (F_{\text{экс},2}(X_2))^2 = 8/81. \text{ По таблицам [9] для } \alpha = 0,05 \text{ определим}$$

$$t_{1-\alpha}(N_1 - 1) = t_{0,95}(28) = 1,701,$$

$$t_{1-\alpha}(N_2 - 1) = t_{0,95}(35) = 1,690. \text{ Согласно (4.7),}$$

необходимо

определить:

$$F_{\text{экс},1}(X_1) - F_{\text{экс},2}(X_1) = 0,1111, \quad \frac{s_1^2}{N_1} = 0,$$

$$\frac{s_2^2}{N_2} = \frac{8}{81 \cdot 36} = 0,00274,$$

$$\frac{s_1^2}{N_1} \cdot t_{1-\alpha}(N_1 - 1) + \frac{s_2^2}{N_2} \cdot t_{1-\alpha}(N_2 - 1) =$$

$$= 0 + 0,00274 \cdot 1,690 = 0,00463,$$

$$\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}} = \sqrt{0 + 0,00274} = 0,0523,$$

$$\frac{\frac{s_1^2}{N_1} \cdot t_{1-\alpha}(N_1 - 1) + \frac{s_2^2}{N_2} \cdot t_{1-\alpha}(N_2 - 1)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} =$$

$$= \frac{0,00463}{0,0523} = 0,0885.$$

Т.к. $0,1111 > 0,0885$, очевидно, что $[x_{(1)} < x_{(2)}]_P$. Таким образом, согласно выражения (4.2) с вероятностью $1 - \alpha = 0,95$ можно сказать, что для того, чтобы с вероятностью $P=0,9778$ не опоздать из школы в ПТУ, запас времени при «путешествии» вторым маршрутом должен быть больше.

Поскольку $F_1(X_2) = F_2(X_2) = 1$, делать проверку согласно формуле (4.8) не нужно.

Выводы

1. В связи с существованием большого количества различных методик статистической обработки результатов испытаний, если в стандарте предусмотрен статистический подход к обработке результатов испытаний, желательно в этом же стандарте подробно описать методику статистической обработки данных, используемую в данном стандарте.

2. Поскольку в испытаниях могут возникнуть ситуации, не проработанные во время составления стандарта, для облегчения принятия решений руководителем испытаний в стандарте желательно описывать принятую концепцию статистической обработки результатов испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст].
- ДСТУ ГОСТ ИСО 5725:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання (ГОСТ ИСО 5725-2003. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений) [Текст].
- ASTM A496-95a. Standard Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement [Текст].
- О реализации требований ISO 10544 и некоторых национальных стандартов к тестированию арматурной проволоки на свариваемость [Текст] / В. И. Большаков и др. // Металл и литьё Украины. – 2000. – № 3-4. – С. 34-37.
- ISO 10544:1992(E). Cold-reduced steel wire for the reinforcement of concrete and the manufacture of welded fabric [Текст].
- О реализации требований ISO 10544 и некоторых национальных стандартов к тестированию механических свойств арматурной проволоки [Текст] / В. И. Большаков и др. //

- Металлознавство та термічна обробка металів. – 2000. – № 3 (10). – С. 38-45.
- Типовая методика испытаний подвижного состава по воздействию на путь после изготовления или перед вводом в эксплуатацию [Текст]. – М.: ВНИИЖТ МПС (ИЦЖТ), 1990. – 20 с.
 - Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е. И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
 - Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
 - Большаков, В. И. Сравнительная статистическая обработка экспериментального материала по недостаточно представительным выборкам [Текст] / В. И. Большаков, Н. Я. Гаркави, И. В. Добров // Методы менеджмента качества. Надёжность и контроль качества. – 1999. – № 7. – С. 41-44.
 - Идентификация тенденций динамических процессов методом сортировок и визуализации экспериментальных данных [Текст] / Н. Я. Гаркави и др. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Вып. 1 (42). – Д., 2006. – С. 131-140.
 - DIN 488. DEUTSCHE NORM. Betonstahl. (09.1984-06.1986) [Текст].
 - СТ ССФЖТ ЦТ 15-98. Стандарт системы сертификации на федеральном железнодорожном транспорте. Тяговый подвижной состав. Типовая методика динамико-прочностных испытаний локомотивов [Текст]. – М.: МПС России. – Введ. в действие 15.02.99 г. указанием МПС России № Г-165у. – 26 с.
 - МСЭ [Текст].
 - Статистическая обработка результатов ходовых испытаний рельсового транспорта [Текст] / Е. П. Блохин и др. // Сб. науч. тр. Нац. горного ун-та. – № 15, т. 2. – Д., 2002. – С. 166-175.
 - РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества [Текст].
 - РД 50-398-83. Методические указания. Расчёты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний. Планирование механических испытаний и статистическая обработка результатов [Текст].
 - Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами [Текст] / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 959 с.
 - О сравнении двух статистических величин [Текст] / В. И. Большаков и др. // Системні технології. – 1999. – № 6. – С. 8-12.

Поступила в редколлегию 24.09.2008.

ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДИКИ ПОРІВНЯННЯ ЇХ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ

У статті на прикладі електропоїздів серії EP9 пропонується варіант оцінювання строку служби несучих конструкцій моторвагонного рухомого складу, які є аналогами, на підставі результатів порівнювального аналізу експериментально виміряних в умовах експлуатації величин, що характеризують їх навантаженість та напружено-деформований стан.

В статье на примере электропоездов серии EP9 предлагается вариант оценивания срока службы несущих конструкций моторвагонного подвижного состава, являющихся аналогами, на основании сравнительного анализа результатов экспериментально измеренных в условиях эксплуатации величин, характеризующих их нагруженность и напряженно-деформированное состояние.

In the paper on the example of electric trains of a series EP9 it is suggested a variant of estimation of service life for carrying structures of the motor-wagon rolling stock, which are analogs, on the basis of results of comparative analysis of values, measured experimentally in operation conditions, that characterize their loading conditions and stressed-and-strained state.

В роботах [1, 2], присвячених проблемі подовження строку служби несучих конструкцій (НК) рухомого складу (РС), показано, що для прийняття відповідного рішення (позитивного або іншого) необхідно виконати цикл експериментально-аналітичних робіт, серед яких є: експериментальне визначення навантаженості та напружено-деформованого стану; теоретичні розрахунки з уточненого розрахунку напружено-деформованого стану; експериментальне визначення показників втоми; теоретичні розрахунки з визначення ресурсу.

Розглянемо випадок, коли необхідно зробити висновок відносно ресурсу НК рухомого складу, для котрих існують дані попередніх випробувань рухомого складу РС-аналога.

Під РС-аналогом будемо розуміти тип рухомого складу, який ідентичний або подібний до досліджуваного РС за конструкцією рам візків та кузова РС. При цьому вважається, що у випадку виробництва НК одним і тим самим виробником з однакових матеріалів та за єдиною технологією вказані НК мають однакові характеристики опору втоми.

У цьому випадку відмінність ресурсу НК вказаного РС буде залежати від різниці динамічного навантаження, яке вони отримують в типових умовах експлуатації. Застосування такої методики наведено нижче, на прикладі порівняння динамічного навантаження рам візків причіпних вагонів електропоїздів EP9П (РС-аналог) та EP9М (досліджуваний РС).

Для порівняння навантаження рам візків електропоїздів EP9П та EP9М буде порівняне напруження, яке вони отримують через динамічне навантаження з боку кузовів вагонів, тобто з урахуванням динаміки другого ступеню підвішування.

Еквівалентна, нормована відносно статичного навантаження сила буде обчислюватися як

$$S_{\text{ЕКВ}} = \frac{S_{\text{ДИН ЕКВ}}}{K_{\sigma} S_{\text{СТ}}} = \frac{(S_{\text{СТ}} \psi + K_{\sigma} S_{\text{ДИН}})}{K_{\sigma} S_{\text{СТ}}} = \frac{(S_{\text{СТ}} \frac{\psi}{K_{\sigma}} + K_{\text{ДВ}} S_{\text{СТ}})}{S_{\text{СТ}}} = \frac{\psi}{K_{\sigma}} + K_{\text{ДВ}}, \quad (1)$$

де $S_{\text{ЕКВ}}$ – еквівалентна нормована сила; $S_{\text{ДИН ЕКВ}}$ – еквівалентне за руйнівною здатністю динамічне навантаження; $S_{\text{СТ}}$ – статичне навантаження на візок; $K_{\sigma} = 3,7$ – коефіцієнт концентрації напружень в рамі візка; $\psi = 0,3$ – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу; $S_{\text{ДИН}}$ – динамічна добавка вертикальної сили; $K_{\text{ДВ}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки.

Таким чином, підставляючи нормативні чисельні значення коефіцієнтів, отримуємо

$$S_{\text{ЕКВ}} = 0,08 + K_{\text{ДВ}}. \quad (2)$$

Для більш коректного врахування квазістатичного характеру навантаження при русі ваго-

нів у кривих коефіцієнт динаміки обчислюється як

$$K_{\text{дв}} = 0,5(K_{\text{дв}}^{+} - K_{\text{дв}}^{-}), \quad (3)$$

де $K_{\text{дв}}^{+}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки при довантаженні з ймовірністю 0,95; $K_{\text{дв}}^{-}$ – те ж саме при розвантаженні.

Нормоване напруження з урахуванням ймовірностей ситуації руху розраховується як

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 p_i^V p_j^E S_{EKBij}^m, \quad (4)$$

де D – напруження візка на один цикл коливань; $n = 4$ (20...40; 40...60; 60...80; 80...100 км/год.) – кількість діапазонів швидкості руху;

p_i^V – ймовірність руху з i -тою швидкістю; p_j^E – ймовірність руху в прямій ($j = 1$), кривій великого та середнього радіусу; S_{EKBij}^m – еквівалентна сила в i - j ситуації руху; $m = 4$ – показник ступеня кривої витривалості.

Вважаючи конструкції електропоїздів схожими, припускаємо, що ефективні частоти їх коливань співпадають. Тоді відношення ресурсів дослідних вагонів ЕР9М та ЕР9Е до еталону ЕР9П буде оборотним відносно до відношення їх напружень за формулою (4).

Статистичні дані відносно ймовірностей перебування вагонів в різних станах руху взяті з роботи [3] на підставі даних МПС СРСР.

Таблиця 1

Ймовірності швидкостей руху

Швидкість руху	20...40	40...60	60...80	80...100
Ймовірність p_i	0,04	0,28	0,34	0,34

Таблиця 2

Ймовірності радіусів кривизни колії

Тип ділянки	Пряма, $j = 1$	$600 < R$, $j = 2$	$350 < R < 600$, $j = 3$	$R < 350$
Ймовірність p_j	0,756	0,147	0,074	0,023

Альтернативою використанню даних табл. 1, 2 є проведення експериментальних досліджень динамічної навантаженості РС в експлуатаційному режимі.

Вказаний режим передбачає проведення динамічних ходових та міцнісних випробувань з виконанням наступних умов:

- використання для проведення випробувань полігону типових напрямків обертання досліджуваного типу РС;
- проведення випробувань в режимі встановленого графіку руху поїздів.

Відношення ресурсу досліджуваної конструкції до ресурсу РС-аналога d знаходиться як зворотне відношення наробітків:

$$d = \frac{D_{\text{д}}}{D_{\text{а}}}. \quad (5)$$

У вказаному виразі: $D_{\text{д}}$ – питомий (на одиницю відстані) наробіток досліджуваної конструкції в процесі експлуатації; $D_{\text{а}}$ – питомий наробіток НК РС-аналога в процесі експлуатації.

Тоді ресурс досліджуваної конструкції визначатиметься наступним чином:

$$R_{\text{д}} = d \frac{L_{\text{а}}}{L_{\text{д}}} R_{\text{а}}, \quad (6)$$

де $L_{\text{д}}$ – середньорічний пробіг досліджуваної конструкції в процесі експлуатації; $D_{\text{а}}$ – середньорічний пробіг НК РС-аналога в процесі експлуатації; $R_{\text{д}}$ – ресурс, виражений в одиницях строку експлуатації досліджуваної конструкції в процесі експлуатації; $R_{\text{а}}$ – ресурс, виражений в одиницях строку експлуатації НК РС-аналога в процесі експлуатації.

Для порівняння навантаження рам візків електропоїздів ЕР9П та ЕР9Е, М буде порівняне напруження, яке вони отримують через динамічне навантаження з боку кузовів вагонів, тобто з урахуванням динаміки другого ступеню підвішування.

Нижче у табл. 3–6 наведено значення коефіцієнтів вертикальної динаміки, в табл. 7–12 – дані про підрахунки наробітків головних та моторних вагонів при їх русі по різних дільницях колії та з різними швидкостями.

Таблиця 3

Головний вагон електропоїзда ЕР9М

$V_{\text{сер.}},$ км/ГОД.	$K_{\text{дцгпкс}}$	$K_{\text{дцглкс}}$	$K_{\text{дцгпкв}}$	$K_{\text{дцглкв}}$	$K_{\text{дцгпр}}$
38	0.29	0.25	0.215	0.22	0.15
53	0.255	0.24	0.26	0.195	0.14
68	0.195	0	0.215	0.205	0.14
83	0.16	0.165	0.21	0.16	0.18
98	0.16	0	0.315	0.14	0.18

Таблиця 4

Моторний вагон електропоїзда ЕР9М

$V_{\text{сер.}},$ км/ГОД.	$K_{\text{дцмпкс}}$	$K_{\text{дцмлкс}}$	$K_{\text{дцмпкв}}$	$K_{\text{дцмлкв}}$	$K_{\text{дцмпр}}$
38	0.21	0.22	0.175	0.17	0.13
53	0.15	0.165	0.19	0.195	0.12
68	0.16	0	0.195	0.19	0.12
83	0.125	0.205	0.165	0.125	0.15
98	0.155	0	0.265	0.12	0.15

Таблиця 5

Головний вагон електропоїзда ЕР9Е

$V_{\text{сер.}},$ км/ГОД.	$K_{\text{дцгпкс}}$	$K_{\text{дцглкс}}$	$K_{\text{дцгпкв}}$	$K_{\text{дцглкв}}$	$K_{\text{дцгпр}}$
38	0.335	0.295	0.245	0.24	0.15
53	0.215	0.24	0.265	0.23	0.15
68	0.205	0	0.245	0.265	0.17
83	0.195	0.245	0.235	0.165	0.2
98	0.195	0	0.345	0.18	0.19

Таблиця 6

Моторний вагон електропоїзда ЕР9Е

$V_{\text{сер.}},$ км/ГОД.	$K_{\text{дцмпкс}}$	$K_{\text{дцмлкс}}$	$K_{\text{дцмпкв}}$	$K_{\text{дцмлкв}}$	$K_{\text{дцмпр}}$
38	0.255	0.215	0.195	0.18	0.13
53	0.145	0.18	0.205	0.215	0.12
68	0.15	0	0.21	0.205	0.15
83	0.18	0.185	0.2	0.15	0.17
98	0.175	0	0.275	0.115	0.17

Таблиця 7

Розрахунок питомих наробітків головних вагонів при русі в прямих

$V_{сер.,}$ км/год.	Динамічні добавки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний
38	0.15	0.15	0.168	0.23	0.23	0.248	0.00011936	0.00011936	0.00015131
53	0.14	0.15	0.216	0.22	0.23	0.296	0.000655917	0.000783555	0.002149438
68	0.14	0.17	0.224	0.22	0.25	0.304	0.00079647	0.001328125	0.002903844
83	0.18	0.2	0.224	0.26	0.28	0.304	0.001553718	0.00208983	0.002903844
98	0.18	0.19	0.224	0.26	0.27	0.304	0.001553718	0.001806899	0.002903844
						Разом	0.003531851	0.004626982	0.008325283

Таблиця 8

Розрахунок питомих наробітків головних вагонів при русі в кривих великих радіусів

$V_{сер.,}$ км/год.	Динамічні добавки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний
38	0.22	0.25	0.32	0.3	0.33	0.4	0.000324	0.000474368	0.001024
53	0.26	0.27	0.528	0.34	0.35	0.608	0.003741741	0.00420175	0.038262412
68	0.22	0.27	0.368	0.3	0.35	0.448	0.002754	0.005102125	0.013695913
83	0.21	0.24	0.36	0.29	0.32	0.44	0.002404755	0.003565158	0.012743526
98	0.32	0.35	0.304	0.4	0.43	0.384	0.008704	0.011623923	0.007392712
						Разом	0.002635489	0.003670197	0.010748429

Розрахунок питомих наробітків головних вагонів при русі в кривих середніх радіусів

$V_{сер},$ км/год..	Динамічні добавки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний
38	0.4	0.34	0.384	0.48	0.42	0.464	0.002123366	0.001244678	0.001854095
53	0.29	0.24	0.432	0.37	0.32	0.512	0.005247651	0.002936013	0.019241453
68	0.2	0.21	0.256	0.28	0.29	0.336	0.00208983	0.002404755	0.004333472
83	0.19	0.25	0.296	0.27	0.33	0.376	0.001806899	0.004032131	0.006795639
98	0.14	0.2	0.368	0.22	0.28	0.448	0.00079647	0.00208983	0.013695913
						Разом	0.000892752	0.000940348	0.003398122

Розрахунок питомих наробітків моторних вагонів при русі в прямих

$V_{сер},$ км/год..	Динамічні добавки $K_{дв}$				Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$				Наробітки		
	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний
38	0.13	0.13	0.118	0.21	0.21	0.198	7.77924E-05	7.77924E-05	6.14781E-05		
53	0.12	0.12	0.12	0.2	0.2	0.2	0.000448	0.000448	0.000448		
68	0.12	0.15	0.145	0.2	0.23	0.225	0.000544	0.000951459	0.000871383		
83	0.15	0.17	0.138	0.23	0.25	0.218	0.000951459	0.001328125	0.0007679		
98	0.15	0.17	0.138	0.23	0.25	0.218	0.000951459	0.001328125	0.0007679		
						Разом	0.00224737	0.003124927	0.002204996		

Розрахунок питомих наробітків моторних вагонів при русі в кривих великих радіусів

$V_{сер.}$ км/год.	Динамічні добавки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний
38	0.175	0.195	0.151	0.255	0.275	0.231	0.00016913	0.000228766	0.000113896
53	0.195	0.215	0.25	0.275	0.295	0.33	0.001601359	0.002120538	0.003320579
68	0.195	0.21	0.204	0.275	0.29	0.284	0.001944508	0.002404755	0.002211833
83	0.165	0.2	0.237	0.245	0.28	0.317	0.00122502	0.00208983	0.003433333
98	0.265	0.275	0.237	0.345	0.355	0.317	0.004816763	0.005399982	0.003433333
						Разом	0.001434247	0.001799849	0.001839407

Розрахунок питомих наробітків моторних вагонів при русі в кривих середніх радіусів

$V_{сер.},$ км/год..	Динамічні добавки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний
38	0.22	0.255	0.204	0.3	0.335	0.284	0.000324	0.000503778	0.000260216
53	0.165	0.18	0.184	0.245	0.26	0.264	0.00100884	0.001279533	0.001360109
68	0.16	0.15	0.138	0.24	0.23	0.218	0.001128038	0.000951459	0.0007679
83	0.205	0.185	0.164	0.285	0.265	0.244	0.00224315	0.001676727	0.001205142
98	0.155	0.175	0.164	0.235	0.255	0.244	0.001036932	0.001437605	0.001205142
						Разом	0.000424831	0.000432834	0.00035509

Кінцевий етап розрахунків з порівняння питомих наробітків вагонів електропоїздів ЕР9М, Е з наробітком електропоїзда ЕР9П наведено в табл. 13, 14.

Таблиця 13

Порівняння питомих наробітків причіпних (головних) вагонів

	Вагони причіпні (головні)			Порівняльна оцінка	
	ЭР9М	ЭР9Е	ЭР9П	D3/D1	D3/D2
Позначення	D1	D2	D3		
Наробітки	0.00706	0.00924	0.0225	3.18	2.43

Таблиця 14

Порівняння питомих наробітків моторних вагонів

	Вагони моторні			Порівняльна оцінка	
	ЭР9М	ЭР9Е	ЭР9П	D3/D1	D3/D2
Позначення	D1	D2	D3		
Наробітки	0.0041	0.00536	0.00440	1.07	0.82

З даних табл. 13, 14 виходить, що відношення наробітків візків причіпних (головних) вагонів електропоїздів ЕР9М, Е та моторних вагонів ЕР9М дозволяє без обмежень прийняти Технічні рішення з подовження строку їх служби. При цьому вважається, що показники витривалості рам візків електропоїздів ЕР9Е, М не гірші, ніж рам візків електропоїздів ЕР9П. Рами моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е навантажені більше, аналог (ЕР9П), що в даній постановці дозволяє подовжити їх строк служби до 35 років. В даному випадку існує певний резерв строку служби, пов'язаний із тим, що при проведенні оцінки строку служби несучих конструкцій електропоїздів ЕР9П в якості еталону навантаження було прийнято найбільш жорсткий режим руху (рух у кривих великого радіусу, діапазон швидкості руху 60...100 км/год.) з питомих наробітком

$D = 0.01$ (наробіток у статистичній постановці складає $D = 0.0044$, див. табл. 14). Враховуючи вказане, строк служби рам візків моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е з особливими зауваженнями та підвищеним контролем може бути подовжений на 9 років, тобто до 37 років від побудови. Доповнення до Технічного рішення щодо впорядкування експлуатації моторних вагонів електропоїздів ЕР9М на рами візків моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е не розповсюджується.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити висновки про наступне.

Відношення наробітків візків причіпних (головних) вагонів електропоїздів ЕР9М, Е та моторних вагонів ЕР9М дозволяє без обмежень прийняти Технічні рішення з подовження строку їх служби. При цьому вважається, що показники витривалості рам візків електропоїздів ЕР9Е, М не гірші, ніж рам візків електропоїздів ЕР9П.

Рами моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е навантажені більше, аналог (ЕР9П), що в даній постановці дозволяє подовжити їх строк служби до 35 років.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боднар, Б. Е. Методы сравнительной оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава [Текст] / Б. Е. Боднар, В. Л. Горобец, И. М. Грушак // Вестник Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля. – 2004. – № 8 (78). – С 118-126.
2. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава [Текст]. – К.: Гос. администрация ж.д. трансп. Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.
3. Грушак, І. М. Порівняльна оцінка впливу модернізації на напружено-деформований стан рами візку електровоза ВЛ60 [Текст] / І. М. Грушак. – Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-22.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), Н. Е. НАУМЕНКО (ИТМ НАН и НКА Украины, Днепрпетровск), А. А. НИКИТЧЕНКО (ООО «ГСКБВ», Мариуполь)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФРИКЦИОННО-ПОЛИМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

Розглянуто алгоритм побудови математичної моделі роботи фрикційного поглинального апарату.

Рассмотрен алгоритм построения математической модели работы фрикционного поглощающего аппарата.

The algorithm of construction of mathematical model for operation of a friction shock absorber is considered.

При проектировании подвижного состава железных дорог, особенно грузовых вагонов, очень важно обеспечить необходимые прочностные качества основных элементов несущих конструкций. При этом основным воздействием на конструкцию вагона, кроме вертикальных усилий со стороны пути, являются продольные силы, возникающие при переходных режимах движения. Основным элементом, который воспринимает продольные усилия в конструкции вагона, является поглощающий аппарат автосцепки. Во многом динамическая нагруженность вагона определяется именно техническими характеристиками поглощающего аппарата, поэтому, кроме создания новой конструкции, актуальным является создание математической модели его работы. Далее рассмотрим основные требования нормативной документации к поглощающим аппаратам и процедуру формирования математической модели их работы.

В соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 32.175-2001 «Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов», поглощающие аппараты по основным техническим показателям делятся на 4 класса Т0, Т1, Т2, Т3 [1–3].

В настоящее время ОАО «Азовмаш» серийно выпускает поглощающий аппарат модели АПМ-110-К-23, принадлежащий к классу Т0.

В соответствии с новыми требованиями ОАО «РЖД», аппараты класса Т0 могут использоваться только при регламентных ремонтных работах на вагонах, установка их на вагоны новой постройки запрещена.

Поэтому, в ближайшее время наиболее широкое распространение должны получить поглощающие аппараты класса Т1, предназначенные для установки на вагоны общего пользования: полувагоны, крытые вагоны, вагоны-платформы и другие.

Вот почему перед ОАО «Азовмаш» остро стоит необходимость создания поглощающего аппарата класса Т1 собственной конструкции.

Перспективным направлением создания аппаратов такого класса является замена подпорных пружин в пружинно-фрикционных аппаратах полимерными элементами. Использование полимерного упругого блока повышает полноту и энергоемкость силовых характеристик поглощающего аппарата. Это достигается за счет повышения жесткости подпорного комплекта. Кроме того, демпфирующие свойства полимеров значительно снижают фрикционные автоколебания, сопровождающие ударное сжатие. Также достоинством такого решения является простота конструкции, технологии изготовления и относительно низкая стоимость.

При ближайшем рассмотрении требований ОСТ 32.175-2001 «Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов» можно заметить, что в него заложены несколько противоречивые требования по максимальной и номинальной энергоемкости поглощающих аппаратов класса Т1. С одной стороны, при усилии не более 2,0 МН должна быть достигнута энергоемкость не менее 70 кДж, а при полном ходе или усилии не более 3,0 МН должна быть достигнута энергоемкость не менее 90 кДж. Таким образом, при недостаточной жесткости подпорного комплекта не будут достигнуты требуемые показатели энергоемкости, а при завышенной жесткости будут превышены сжимающие силы.

Вот почему важной задачей является определение жесткости подпорного комплекта. Приведенная в данной статье методика позволяет определить требуемую жесткость подпорного комплекта, чтобы в полной мере обеспечить нормируемые показатели.

Принципиальная схема упруго-фрикционного поглощающего аппарата, оборудованного пакетом упругих элементов, представлена на рис. 1.

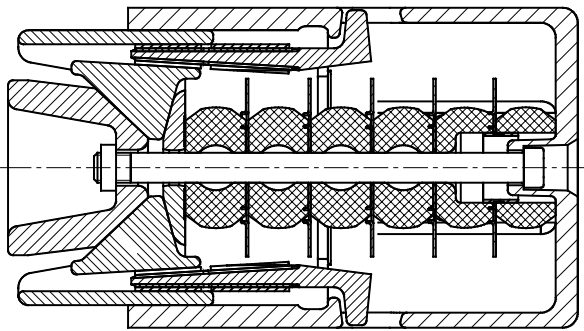


Рис. 1. Принципиальная схема устройства поглощающего аппарата

Движение любой механической системы с одной степенью свободы, в том числе и фрикционного поглощающего аппарата, можно описать уравнением Лагранжа II рода, которое имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = P, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы; \dot{x} – обобщенная скорость; x – обобщенная координата; P – обобщенная сила, действующая на механическую систему.

Масса падающего груза при натурных копровых испытаниях составляет 12900 кг, что значительно больше суммарной массы всех движущихся элементов поглощающего аппарата. В этом случае принимаем в качестве обобщенной координаты перемещение нажимного конуса, масса которого равна массе падающего груза.

Тогда кинетическая энергия движущейся системы составит:

$$T = \frac{M\dot{x}^2}{2}, \quad (2)$$

где M – масса груза; \dot{x} – скорость перемещения груза.

Частная производная кинетической энергии системы по скорости перемещения в этом случае определяется выражением:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = M\dot{x}. \quad (3)$$

Так как кинетическая энергия в явном виде не зависит от положения системы, то:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

После преобразований уравнений (2)–(4) уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d(M\dot{x})}{dt} = P. \quad (5)$$

Подставив в (5) $dt = \frac{dx}{\dot{x}}$, получим

$$M\dot{x}d\dot{x} = Pdx. \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка, которое определяет зависимость скорости движения системы от ее положения.

Обобщенная сила P , входящая в уравнение (6), зависит от скорости системы и ее положения, которые определяются углами клиновой системы и коэффициентами трения между движущимися поверхностями.

Усилие P определим как:

$$P = M \cdot g - \psi \cdot P_{\text{пр}}, \quad (7)$$

где ψ – коэффициент передачи, показывающий, во сколько раз усилие сжатия аппарата P превышает усилие сжатия блока упругих элементов $P_{\text{пр}}$.

Усилие сжатия блока упругих элементов имеет нелинейную характеристику и определяется экспериментально. При проведении эксперимента велась запись усилия сжатия и соответствующего ему перемещения через каждые 0,25 мм. Характеристика блока упругих элементов на этапе нагрузки после 150 обжатий представлена на рис. 2.

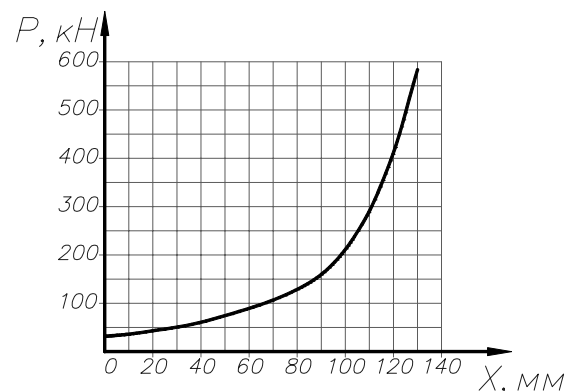


Рис. 2. Силовая характеристика упругих элементов

Заранее трудно знать, какой функцией аппроксимировать силовую характеристику блока упругих элементов, поэтому попробуем несколько вариантов и примем тот, который дает

наименьшую погрешность. Проверим следующие варианты:

1) аппроксимируем интерполяционным многочленом Лагранжа, формула которого имеет вид:

$$\mathcal{K}(x_{\text{np}}) = \sum_{i=0}^n P_{\text{np}}(x_{\text{np}i}) \prod_{i \neq j} \frac{x_{\text{np}} - x_j}{x_i - x_j}. \quad (8)$$

Для этого выберем четное количество, в данном случае 8, точек на кривой. Значения аргумента и функции приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения аргумента и функции								
i	1	2	3	4	5	6	7	8
$x, \text{ мм}$	0	20	40	60	80	100	120	130
$P_{\text{np}}, \text{ кН}$	32	43	61	89	129	211	412	583

В итоге получаем искомую интерполяцию многочленом Лагранжа

$$\begin{aligned} \mathcal{K}(x_{\text{np}}) = & 32 + \frac{422693}{1201200} x_{\text{np}} + \frac{419093}{20592000} x_{\text{np}}^2 - \\ & - \frac{53861}{51450000} x_{\text{np}}^3 + \frac{461}{12870000} x_{\text{np}}^4 - \frac{\pi}{4} - \\ & - \frac{22921}{41184000000} x_{\text{np}}^5 + \frac{13067}{3294720000000} x_{\text{np}}^6 - \end{aligned}$$

$$\mathcal{K}(x_{\text{np}}) = 32 + \frac{x}{\frac{20}{11} + \frac{\frac{319}{7} + \frac{\frac{560}{187} + \frac{\frac{4250}{63} + \frac{\frac{450}{4097} + \frac{\frac{80768571782}{300990375} - \frac{534073352}{167216875}}{x-100}}{x-80}}{x-60}}{x-40}}{x-20}}. \quad (10)$$

3) применим аппроксимацию кубическими сплайнами. Данный вид аппроксимации основан на следующих соображениях. В промежутке между каждой парой соседних точек искомая функция представляется многочленом третьей степени, который удобно записать в виде:

$$\begin{aligned} \varphi(x) = & a_i + b_i(x - x_{i-1}) + \\ & + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^3, \quad (11) \\ & x_{i-1} \leq x \leq x_i. \end{aligned}$$

$$-\frac{2297}{230630400000000} x_{\text{np}}^7. \quad (9)$$

2) применим аппроксимацию дробно-рациональной функцией

В этом случае искомая функция $\mathcal{K}(x_{\text{np}})$ может быть записана в явном виде. Для этого вычисляем разделенные разности, определяемые условиями:

$$f^-(x_l, x_k) = \frac{x_l - x_k}{f(x_l) - f(x_k)}$$

и рекуррентным соотношением

$$f^-(x_k, \dots, x_l) = \frac{x_l - x_k}{f^-(x_{k+1}, \dots, x_l) - f^-(x_k, \dots, x_{l-1})}.$$

Интерполирующая дробно-рациональная функция записывается в виде цепной дроби

$$\begin{aligned} f(x) = & f(x_1) + \\ & + \frac{x - x_1}{f^-(x_1, x_2) + \frac{x - x_2}{f^-(x_1, x_2, x_3) + \dots + \frac{x - x_n}{f^-(x_1, \dots, x_n)}}}. \end{aligned}$$

В итоге искомая функция дробно-рациональной аппроксимации для значений, представленных в табл. 1:

Коэффициенты многочлена на каждом интервале определим из условий в узлах. Очевидно, в узлах многочлен должен принимать табличные значения функции:

$$\begin{aligned} y_{i-1} = \varphi(x_{i-1}) &= a_i, \quad 1 \leq i \leq N; \\ y_i = \varphi(x_i) &= a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^3; \\ h_i &= x_i - x_{i-1}. \end{aligned} \quad (12)$$

Число этих уравнений вдвое меньше числа неизвестных коэффициентов, поэтому для оп-

ределенности задачи выпишем первую и вторую производные многочлена:

$$\begin{aligned}\varphi'(x) &= b_i + 2c_i(x - x_{i-1}) + 3d_i(x - x_{i-1})^2; \\ \varphi''(x) &= 2c_i + 6d_i(x - x_{i-1})\end{aligned}$$

при $x_{i-1} \leq x \leq x_i$ (13)

и потребуем непрерывности этих производных во всех точках, включая узлы. Приравнявая во внутреннем узле x_i правые и левые пределы производных, получим:

$$\begin{aligned}b_{i+1} &= b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2, \quad 1 \leq i \leq N-1 \\ c_{i+1} &= c_i + 3d_i h_i, \quad 1 \leq i \leq N-1\end{aligned} \quad (14)$$

Недостающие два условия получим, исходя из предположения о нулевой кривизне графика на концах:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\varphi''(x_0) &= c_1 = 0, \\ \frac{1}{2}\varphi''(x_N) &= c_N + 3d_N h_N\end{aligned} \quad (15)$$

Решая систему уравнений (14)–(15), определим неизвестные коэффициенты. Для значений функции в узлах, представленных в табл. 1, система кубических сплайнов имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}32 + \frac{5182}{10655}x + \frac{2713}{17048000}x^3, & \quad x < 20 \\ \frac{69553}{2131} + \frac{3329}{8524}x + \frac{4083}{852400}x^2 + \frac{169}{2131000}x^3, & \quad x < 40 \\ \frac{94193}{2131} - \frac{4063}{8524}x + \frac{22563}{852400}x^2 - \frac{27}{266375}x^3, & \quad x < 60 \\ -\frac{217657}{2131} + \frac{58307}{8524}x - \frac{81387}{852400}x^2 + \frac{4911}{8524000}x^3, & \quad x < 80 \\ -\frac{1276729}{2131} + \frac{1085839}{42620}x - \frac{279963}{852400}x^2 + \frac{2637}{1704800}x^3, & \quad x < 100 \\ -\frac{4078604}{2131} + \frac{691741}{10655}x - \frac{154047}{213100}x^2 + \frac{9757}{3409600}x^3, & \quad x < 120 \\ \frac{44178604}{2131} - \frac{1068082}{2131}x + \frac{1702623}{426200}x^2 - \frac{43657}{4262000}x^3, & \quad 110 \leq x\end{aligned} \right\} \quad (16)$$

На рис. 3 представлены графики аппроксимации жесткости упругих блоков многочленом Лагранжа, дробно-рациональной функцией и кубическими сплайнами.

Как видно, все три приближения очень близки и дают вполне приемлемую точность. Поэтому для дальнейших расчетов принимаем зависимость в форме многочлена Лагранжа. Зависимость деформации блока упругих элементов от перемещения нажимного конуса обозначим $i_{\text{пр}}$. Далее выведем зависимость для определения $i_{\text{пр}}$. Принципиальная схема клиновой системы представлена на рис. 4.

Перемещения клина по неподвижной пластине и по нажимному конусу в зависимости от перемещения нажимного конуса представлены на рис. 5.

Величину перемещения клина по нажимному конусу x_1 и перемещение клина по неподвижной пластине x_2 в зависимости от перемещения нажимного конуса x определим по треугольнику, представленному на рис. 6.

Из рис. 6 следует:

$$\frac{x_1}{\sin(\gamma)} = \frac{x}{\sin(90^\circ - \alpha - \gamma)}, \quad (17)$$

тогда

$$x_1 = x \frac{\sin(\gamma)}{\sin(90^\circ - \alpha - \gamma)} = x \frac{\sin(\gamma)}{\cos(\alpha + \gamma)} \quad (18)$$

и

$$\frac{x_2}{\sin(90^\circ + \alpha)} = \frac{x}{\sin(90^\circ - \alpha - \gamma)}, \quad (19)$$

тогда

$$x_2 = x \frac{\sin(90^\circ + \alpha)}{\sin(90^\circ - \alpha - \gamma)} = x \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\alpha + \gamma)}. \quad (20)$$

Перемещения клина по опорной пластине и перемещение опорной пластины в зависимости от перемещения клина представлены на рис. 7.

Величину перемещения опорной пластины по клину x_3 и абсолютное перемещение опорной пластины $x_{пр}$ в зависимости от перемещения клина x_2 определим по треугольнику, представленному на рис. 8.

Из рис. 8 следует:

$$\frac{x_3}{\sin(\gamma)} = \frac{x_2}{\sin(90^\circ - \beta)}, \quad (21)$$

тогда

$$x_3 = x_2 \frac{\sin(\gamma)}{\sin(90^\circ - \beta)} = x_2 \frac{\cos(\alpha) \sin(\gamma)}{\cos(\beta) \cos(\alpha + \gamma)} \quad (22)$$

и

$$\frac{x_{пр}}{\sin(90^\circ + \beta - \gamma)} = \frac{x_2}{\sin(90^\circ - \beta)}, \quad (23)$$

тогда

$$x_{пр} = x_2 \frac{\sin(90^\circ + \beta - \gamma)}{\sin(90^\circ - \beta)} = x_2 \frac{\cos(\alpha) \cos(\beta - \gamma)}{\cos(\beta) \cos(\alpha + \gamma)}. \quad (24)$$

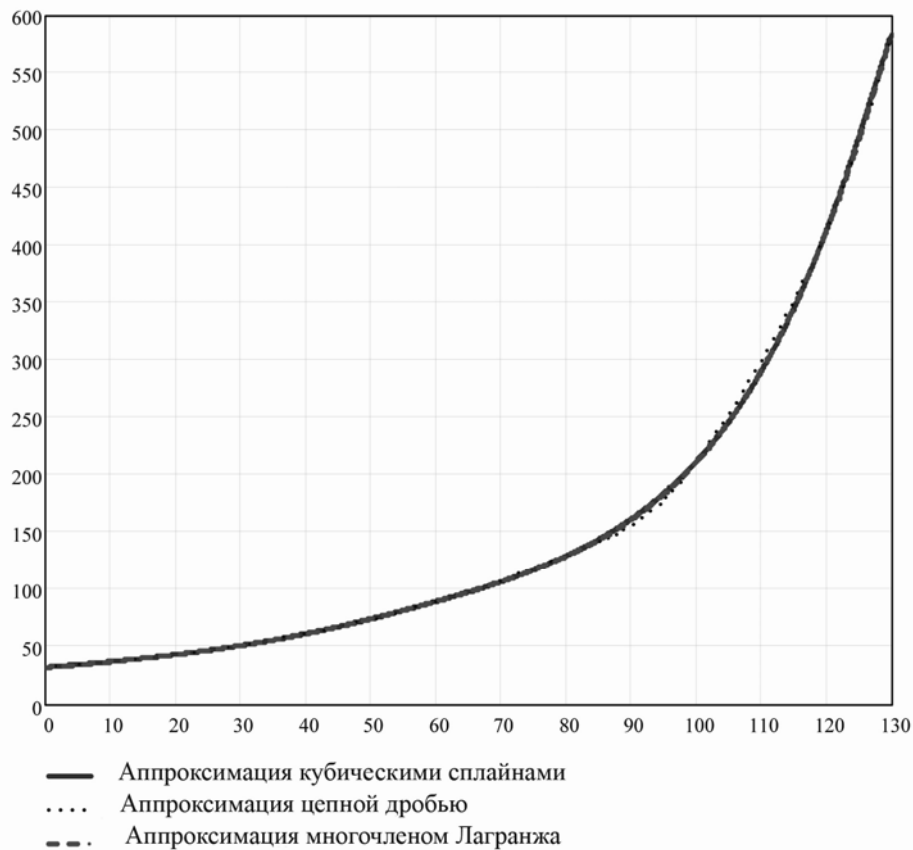


Рис. 3. Аппроксимация жесткости блока упругих элементов различными видами функций



Рис. 4. Принципиальная схема клиновой системы

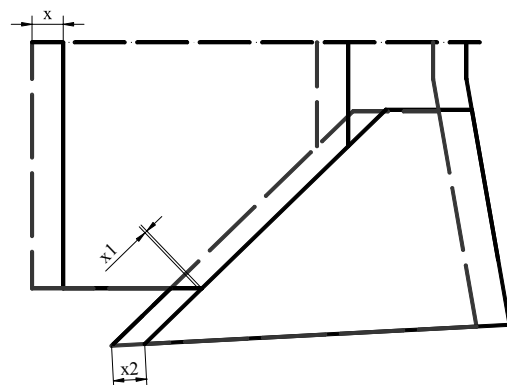


Рис. 5. Зависимость перемещения клина от перемещения нажимного конуса

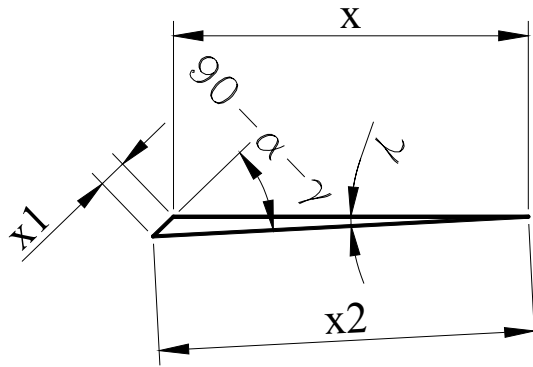


Рис. 6. Схема перемещения нажимного конуса и подвижной пластины

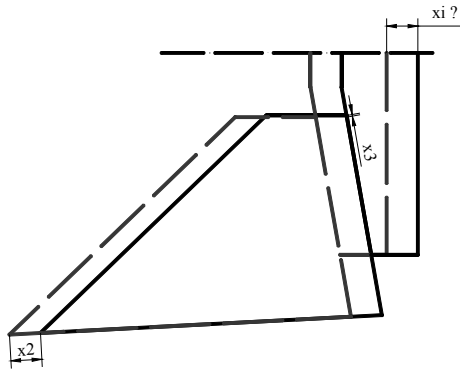


Рис. 7. Зависимость перемещения опорной пластины от перемещения клина

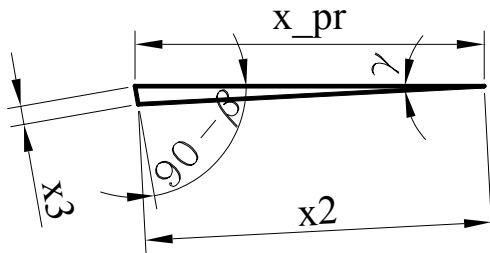


Рис. 8. Схема перемещения опорной пластины и клина

Таким образом, кинематические зависимости между элементами клиновой системы имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} i1 &= \frac{\sin(\gamma)}{\cos(\alpha + \gamma)} \\ i2 &= \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\alpha + \gamma)} \\ i3 &= \frac{\cos(\alpha)\sin(\gamma)}{\cos(\beta)\cos(\alpha + \gamma)} \\ i_{np} &= \frac{\cos(\alpha)\cos(\beta - \gamma)}{\cos(\beta)\cos(\alpha + \gamma)} \end{aligned} \right\}. \quad (25)$$

Обобщенная сила, входящая в уравнение (6), определяется зависимостью:

$$P = M \cdot g - \psi \cdot Ж(x \cdot i_{np}). \quad (26)$$

Коэффициент передачи ψ найдем, рассмотрев равновесие каждого элемента клиновой системы. При этом выделим два этапа нагружения: I этап – груз давит на нажимной конус, не приводя в движение подвижные пластины; II этап – груз одновременно давит на нажимной конус и подвижные пластины [4, 5].

I этап

1) Рассмотрим равновесие нажимного конуса, представленного на рис. 9.

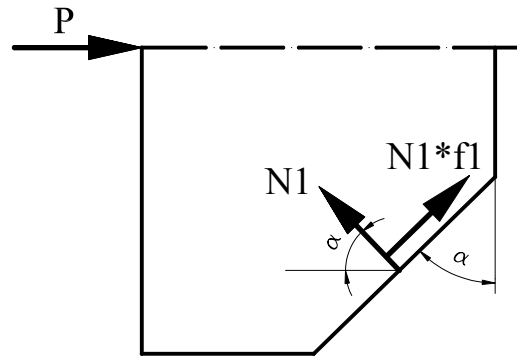


Рис. 9. Равновесие нажимного конуса

$$N_1 \cos(\alpha) - f_1 \cdot N_1 \sin(\alpha) = P. \quad (27)$$

$$N_1 = \frac{P}{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)}. \quad (28)$$

Для фрикционных амортизаторов зависимость коэффициента трения на главной поверхности трения от скорости может быть представлена выражением

$$f = f_0 e^{-bV}, \quad (29)$$

где f_0 – коэффициент трения при $v = 0$ (коэффициент трения покоя); b – коэффициент, определяемый опытным путем; V – скорость трения, которая для каждой из пар трения определяется зависимостями (25).

2) Рассмотрим равновесие клина, представленное на рис. 10.

$$\left. \begin{aligned} &-N_2 \sin(\gamma) - N_2 f_2 \cos(\gamma) - N_3 \cos(\beta) + \\ &+ N_3 f_3 \sin(\beta) + N_1 \cos(\alpha) - N_1 f_1 \sin(\alpha); \\ &+ N_2 \cos(\gamma) - N_2 f_2 \sin(\gamma) - N_3 \sin(\beta) - \\ &- N_3 f_3 \cos(\beta) - N_1 \sin(\alpha) - N_1 f_1 \cos(\alpha) \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Решив уравнения (30) относительно неизвестных N_2 и N_3 , получим:

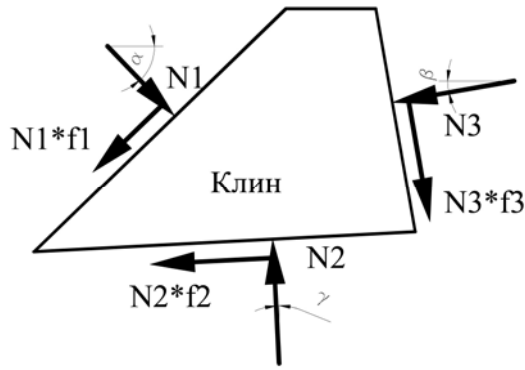


Рис. 10. Равновесие клина

$$N_2 = N_1 \frac{\sin(\alpha + \beta)(1 - f_1 f_3) + \cos(\alpha + \beta)(f_1 + f_3)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)} \quad (31)$$

$$N_3 = N_1 \frac{\cos(\alpha + \gamma)(1 - f_1 f_2) - \sin(\alpha + \gamma)(f_1 + f_2)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)} \quad (32)$$

3) Рассмотрим равновесие опорной пластины, представленной на рис. 11.

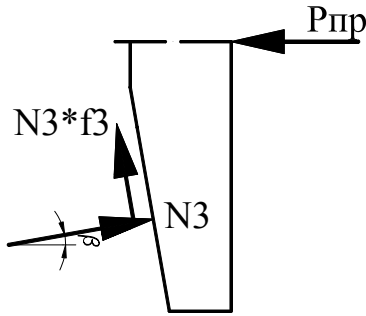


Рис. 11. Опорная пластина

$$N_3 \cos(\beta) - N_3 f_3 \sin(\beta) = P_{пр}; \quad (33)$$

$$P_{пр} = P \frac{\cos(\beta) - f_3 \sin(\beta)}{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)} \times \frac{\cos(\alpha + \gamma)(1 - f_1 f_2) - \sin(\alpha + \gamma)(f_1 + f_2)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)}. \quad (34)$$

Таким образом, коэффициент передачи на I этапе сжатия поглощающего аппарата составит:

$$\Psi_I = \frac{P}{P_{пр}} = \frac{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)}{\cos(\beta) - f_3 \sin(\beta)} \times \frac{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)}{\cos(\alpha + \gamma)(1 - f_1 f_2) - \sin(\alpha + \gamma)(f_1 + f_2)}. \quad (35)$$

II этап

II этап движения элементов поглощающего аппарата характерен тем, что груз одновременно давит на нажимной конус и подвижные пластины.

Принципиальная схема клиновой системы с учетом подвижной, неподвижной пластин и корпуса представлена на рис. 12.



Рис. 12. Принципиальная схема клиновой системы на II этапе нагружения

Рассмотрим равновесие неподвижной пластины, представленной на рис. 13.



Рис. 13. Неподвижная пластина

$$\left. \begin{aligned} N_4 f_4 + N_2 f_2 \cos(\gamma) + N_2 \sin(\gamma) - N_5 &= 0 \\ N_4 - N_2 \cos(\gamma) + N_2 f_2 \sin(\gamma) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Решив уравнения (36), получим:

$$N_4 = N_2 (\cos(\gamma) - f_2 \sin(\gamma))$$

$$N_5 = N_2 (\sin(\gamma)(1 - f_2 f_4) + \cos(\gamma)(f_2 + f_4)) \quad (37)$$

После преобразования получим:

$$N_4 = P_{кл} \frac{\cos(\gamma) - f_2 \sin(\gamma)}{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta)(1 - f_1 f_3) + \cos(\alpha + \beta)(f_1 + f_3)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)}. \quad (38)$$

Рассмотрим равновесие подвижной пластины, представленной на рис. 14.

$$\left. \begin{aligned} P_{пл} - N_4 f_4 - N_6 f_6 &= 0 \\ N_6 - N_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

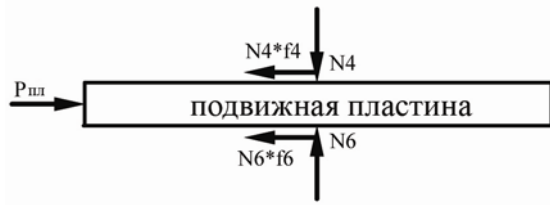


Рис. 14. Подвижная пластина

Решив эти уравнения, получим:

$$\left. \begin{aligned} N_6 &= N_4 \\ P_{пл} &= N_4 (f_4 + f_6) \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

После преобразования получим:

$$P_{пл} = P_{кл} (f_4 + f_6) \frac{\cos(\gamma) - f_2 \sin(\gamma)}{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta)(1 - f_1 f_3) + \cos(\alpha + \beta)(f_1 + f_3)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)} \quad (41)$$

Тогда:

$$P = P_{кл} \left(1 + (f_4 + f_6) \frac{\cos(\gamma) - f_2 \sin(\gamma)}{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta)(1 - f_1 f_3) + \cos(\alpha + \beta)(f_1 + f_3)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)} \right) \quad (42)$$

Усилие, действующее на блок упругих элементов, найдем по формуле:

$$P_{пр} = P_{кл} \frac{\cos(\beta) - f_3 \sin(\beta)}{\cos(\alpha) - f_1 \sin(\alpha)} \times \frac{\cos(\alpha + \gamma)(1 - f_1 f_2) - \sin(\alpha + \gamma)(f_1 + f_2)}{\cos(\beta - \gamma)(1 + f_2 f_3) + \sin(\beta - \gamma)(f_2 - f_3)} \quad (43)$$

Таким образом, коэффициент передачи на II этапе сжатия поглощающего аппарата составит:

$$\Psi_{II} = \Psi_I + (f_4 + f_6) \frac{\cos(\gamma) - f_2 \sin(\gamma)}{\cos(\beta) - f_3 \sin(\beta)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta)(1 - f_1 f_3) + \cos(\alpha + \beta)(f_1 + f_3)}{\cos(\alpha + \gamma)(1 - f_1 f_2) - \sin(\alpha + \gamma)(f_1 + f_2)} \quad (44)$$

После того, как найдены силовые зависимости и подставив (26), (35) и (44) в (6), получим:

$$M \cdot V dV = M \cdot g - \psi(x, V) \cdot \mathcal{K}(x \cdot i_{пр}) dx, \quad (45)$$

где

$$\psi(x, V) = \begin{cases} \psi_I(V) & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ \psi_{II}(V) & \text{при } a \leq x \leq x_{\max} \end{cases} \quad (46)$$

Выразив производную скорости по расстоянию, получим:

$$\frac{dV}{dx} = \frac{M \cdot g - \psi(x, V) \cdot \mathcal{K}(x \cdot i_{пр})}{M \cdot V} \quad (47)$$

Решение уравнения (47) получим методом Рунге-Кутты по формулам шестого порядка, дающим достаточно высокую точность:

$$\begin{aligned} k_1 &= h \cdot f(x, V) \\ k_2 &= h \cdot f\left(x + \frac{h}{2}, V + \frac{k_1}{2}\right) \\ k_3 &= h \cdot f\left(x + \frac{h}{2}, V + \frac{1}{4}(k_1 + k_2)\right) \\ k_4 &= h \cdot f(x + h, V - k_2 + 2k_3) \\ k_5 &= h \cdot f\left(x + \frac{2h}{3}, V + \frac{1}{27}(7k_1 + 10k_2 + k_4)\right) \\ k_6 &= h \cdot f\left(x + \frac{h}{5}, V + \frac{1}{625}\left(\begin{aligned} &28k_1 - 125k_2 + \\ &+ 546k_3 + \\ &+ 54k_4 - 378k_5 \end{aligned}\right)\right) \\ V_{i+1} &= V_i + \frac{1}{6}(k_1 + 4k_3 + k_4), \end{aligned} \quad (48)$$

где h – шаг интегрирования по x , принят равным 0,1 мм.

Решением уравнения (47) являются массивы значений x_i и V_i . Далее найдем силовую характеристику аппарата по формуле:

$$P_i = \psi(x_i, V_i) \cdot \mathcal{K}(x_i \cdot i_{пр}). \quad (49)$$

Чтобы можно было корректно сопоставить результаты расчетов с результатами испытаний, необходимо рассматривать не только силовую характеристику $P(x)$, но и изменение силы и перемещения по времени. Для нахождения массива значений времени по ранее вычисленным массивам скоростей и перемещений используем следующую зависимость:

$$t_i = t_{i-1} + 2 \cdot \frac{x_i - x_{i-1}}{V_i + V_{i-1}}. \quad (50)$$

Таким образом, можно построить зависимости $x(t)$ и $P(t)$.

При расчете по выведенным ранее зависимостям использованы следующие исходные данные:

- углы клиновой системы:
 $\alpha = 45^\circ$; $\beta = 10^\circ$; $\gamma = 3^\circ$;
 - коэффициенты трения покоя:
 сталь по стали $f_0 = 0,185$; сталь по керамике
 $f_0 = 0.41$.
 - показатель коэффициента трения:

сталь по стали $b = 0,3$; сталь по керамике
 $b = 0,2$.
 - масса падающего груза $M = 12900$ кг.
 Полученная характеристика представлена на
 рис. 15.

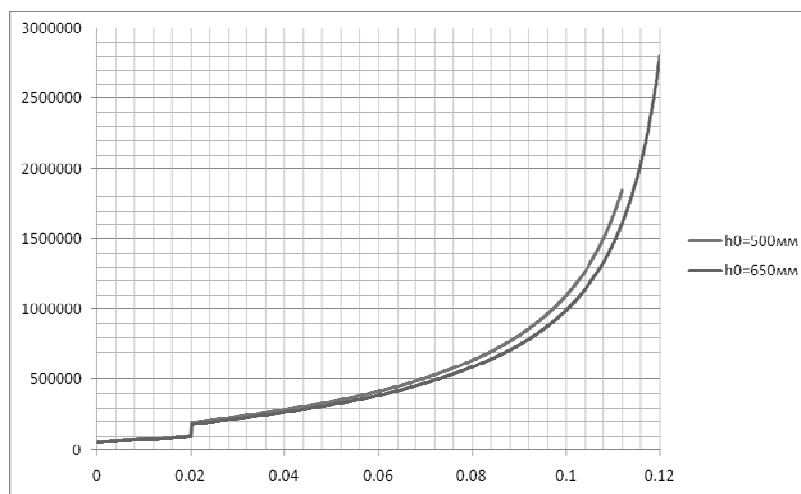


Рис. 15. Силовая характеристика поглощающего аппарата

Таблица 2

H , мм	V_0 , м/с	X , мм	P_{\max} , кН	E , кДж
500	3,1	112	1840	74,8
650	3,57	120	2806	93,6

По вышеприведенной методике определены предварительные параметры фрикционно-полимерного поглощающего аппарата АПМ-120-Т1 (см. табл. 2), обеспечивающие его принадлежность к классу Т1. Аппарат модели АПМ-120-Т1 успешно прошел полный комплекс испытаний и в настоящее время ведутся работы по его сертификации.

Некоторые варианты математических моделей амортизаторов удара приведены также в [6].

Таким образом, выполнено описание математической модели работы поглощающего аппарата автосцепки под действием продольных усилий, возникающих при переходных режимах движения на грузовых вагонах в составе поезда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барбарич, С. С. Требования к грузовым вагонам нового поколения [Текст] / С. С. Барбарич, В. Н. Цюренко // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 8. – С. 26-31.
2. Болдырев, А. П. Расчет и проектирование амортизаторов удара подвижного состава [Текст] / А. П. Болдырев, Б. Г. Кеглин. – М.: Машиностроение, 2004. – 198 с.
3. Автосцепное устройство подвижного состава железных дорог [Текст] / под ред. В. В. Коломийченко. – М.: Транспорт, 2002. – 230 с.
4. Никольский, Л. Н. Фрикционные амортизаторы удара [Текст] / Л. Н. Никольский. – М.: Машиностроение, 1964. – 167 с.
5. Никольский, Л. Н. Амортизаторы удара подвижного состава [Текст] / Л. Н. Никольский, Б. Г. Кеглин. – М.: Машиностроение, 1986. – 144 с.
6. Манашкин, Л. А. Гасители колебаний и амортизаторы ударов рельсовых экипажей (математические модели) [Текст] / Л. А. Манашкин, С. В. Мямлин, В. И. Приходько. – Д.: Арт-Пресс, 2007. – 196 с.

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

Д. М. КОЗАЧЕНКО, Р. В. ВЕРНИГОРА, М. І. БЕРЕЗОВИЙ (ДІПТ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНИХ КОЛІЙ НА ТРИВАЛІСТЬ ОПЕРАЦІЙ ПО ЇХ ПІДГОТОВЦІ ДО РОЗПУСКУ

Розроблено імітаційну модель процесу накопичення составів у сортувальному парку. Наведено результати апробації моделі при дослідженні впливу спеціалізації сортувальних колій на тривалість маневрових операцій з підготовки колій до розпуску составів.

Разработана имитационная модель процесса накопления составов в сортировочном парке. Приведены результаты апробации модели при исследовании влияния специализации сортировочных путей на продолжительность маневровых операций по подготовке путей к роспуску составов.

For modeling of the trains accumulation process on marshalling tracks the special simulation model is designed. The model is used for study of the influence of specialization of marshalling tracks on duration of the operations for liquidation of «windows» between cars on marshalling tracks.

Для нормальної роботи сортувальних гірок колії сортувальних парків перед початком розформування чергового состава повинні мати вільні ділянки з боку гірки для розміщення вагонів, які надходять на сортувальні колії в процесі розпуску. Тому одним з важливих елементів процесу розформування-формування поїздів на станціях є підготовка сортувальних колій до розпуску составів. Ліквідація «вікон» на сортувальних коліях досягається шляхом з'єднання груп або поодиноких вагонів, що зупинилися на колії на деякій відстані один від одного через різні ходові властивості, неточність гальмування відцепів під час розпуску, несприятливий профіль сортувальних колій та інші причини. На даний час підготовка для розпуску чергових составів, як правило, виконується маневровими локомотивами за рахунок осаджування з боку гірки або підтягування вагонів локомотивами з боку витяжних колій.

Відповідно до [1], тривалість операцій з осаджування та підтягування вагонів визначається за формулами:

$$t_{\text{ос}} = 0,06 \cdot \bar{m}; \quad t_{\text{під}} = 0,08 \cdot \bar{m}, \quad (1)$$

де \bar{m} – середня кількість вагонів у составі, що розформується;

0,06 та 0,08 – середні витрати часу маневрової роботи, що припадають на один вагон розформованого состава.

Слід зазначити, що нормативи часу на виконання цих операцій на конкретних станціях можуть уточнюватись за результатами хронометражних спостережень, виконаних на станції. Використання подібного статистичного підходу для нормування тривалості операцій з підготовки

сортувальних колій до розпуску є допустимим при перевірці працездатності станції, але не може використовуватись для розв'язання оптимізаційних задач, наприклад, таких, як вибір спеціалізації колій у сортувальному парку.

Для розв'язання подібних задач необхідно розробити методику, що більш детально враховує характер процесів, які відбуваються при розформуванні та накопиченні составів у сортувальних парках залізничних станцій.

Одним з факторів, що суттєво впливає на процес заповнення сортувальних колій вагонами при розформуванні составів, а також на тривалість виконання маневрових операцій з ліквідації «вікон», є поздовжній профіль сортувальних колій. В той же час, аналіз параметрів поздовжніх профілів колій у сортувальних парках станцій показує, що в межах одного сортувального парку вони можуть мати суттєві відмінності. Так, для станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці сортувальні колії непарної системи знаходяться на спуску в межах від 0,4 ‰ до 1,6 ‰, а парної системи – від спуску 1,2 ‰ до підйому 0,6 ‰. У зв'язку з цим визначення тривалості маневрів з осаджування та підтягування вагонів за виразами (1) дозволяє отримати лише досить приблизні значення, які не можуть бути використані при вирішенні практичних задач з удосконалення сортувального процесу на станціях.

Для дослідження процесу накопичення вагонів на сортувальних коліях розроблено спеціальну імітаційну модель. В ході попередніх досліджень, виконаних за допомогою моделі, встановлено, що характеристики колій по маршруту скочування відцепів на спускній частині

гірки (наявність стрілочних переходів та кругових кривих певного радіусу, довжина маршруту скочування від вершини сортувальної гірки до виходу з другої гальмівної позиції тощо) несуттєво впливають на процес заповнення сортувальних колій. Це пояснюється тим, що режим роботи гальмівних позицій на спускній частині гірки під час реалізації вимог інтервального гальмування справляє значно більший вплив на швидкість руху відцепів, ніж різниця в характеристиках маршрутів їх скочування. У зв'язку з цим при виконанні даного дослідження моделювання процесу накопичення вагонів на сортувальних коліях виконувалось з моменту виходу кожного відчепа з другої гальмівної позиції (СГП). При цьому швидкість виходу відчепа з цієї позиції $v_{\text{вих}}$ розглядалась як випадкова величина. Для визначення характеристик розподілу випадкової величини $v_{\text{вих}}$ виконано серію імітаційних експериментів із розформування составів з використанням моделі сортувальної гірки [2]. Характеристики вагонопотоку та умови скочування (тип, вагова категорія кожного вагона, кількість вагонів у відцепі та координата точки прицілювання) на одне з призначень у сортувальному парку встановлювались у відповідності до плану експерименту, а для інших призначень – моделювались за методикою, запропонованою в [3]. За результатами моделювання отримані вибірки значень випадкової величини $v_{\text{вих}}$ для вагонів кожної з вагових категорій. Для прикладу на рис. 1. наведено гістограму розподілу випадкової величини швидкості $v_{\text{вих}}$ виходу відцепів важкої вагової категорії з СГП.

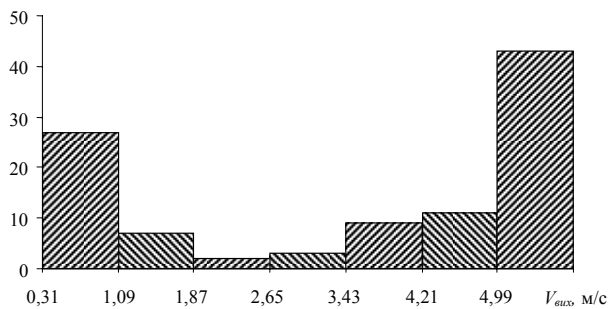


Рис. 1. Гістограма розподілу випадкової величини швидкості виходу відцепів з СГП

Аналіз отриманої вибірки показав, що її можна розділити на дві частини – відповідно до швидкого та повільного режимів скочування відцепів. При цьому повільний режим скочування передбачає максимальне гальмування відчепа на першій гальмівній позиції (ВГП) і мінімальне на СГП, швидкий – мінімальне гальмування на ВГП та максимальне на СГП. Ре-

жим скочування може бути встановлений попередньо на підставі аналізу розташування розділових стрілок по маршруту скочування та довжини відчепа [4]. В результаті статистичної обробки даних імітаційного моделювання роботи гірки встановлено, що швидкість виходу відчепа з СГП при скочуванні, відповідно, у швидкому та повільному режимах може бути визначена за допомогою виразів:

$$v_{\text{вих}}^{\text{шв}} = \xi_i; \quad v_{\text{вих}}^{\text{пов}} = v_{\text{max}} - \xi_i,$$

де ξ_i – випадкова величина, що розподілена за показниковим законом, м/с;

v_{max} – максимальна можлива швидкість виходу відчепа з другої гальмівної позиції, м/с.

Математичне очікування випадкової величини ξ_i залежить від параметрів відчепа та умов його скочування. Для прикладу на рис. 2 наведено графіки залежності математичного очікування $v_{\text{вих}}$ від вагової категорії відчепа та кількості вагонів у відцепі при скочуванні у повільному режимі на відстань 400 м (рис. 2а) та 1000 м (рис. 2б).

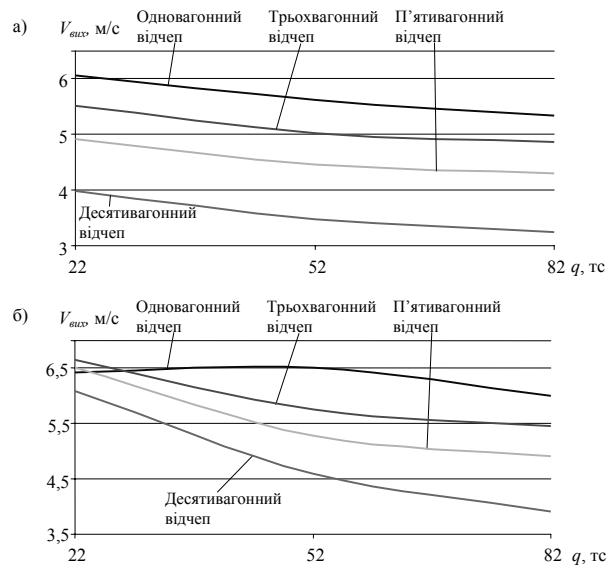


Рис. 2. Графіки залежності швидкості виходу відцепів з СГП від вагової категорії відчепа при скочуванні у повільному режимі:

а – точка прицілювання знаходиться на відстані 400 м від вершини гірки; б – точка прицілювання знаходиться на відстані 1000 м від вершини гірки

Аналогічні залежності були отримані для різних точок прицілювання з кроком 50 м при скочуванні відцепів у швидкому та повільному режимах.

Прицільне регулювання швидкості скочування відцепів на автоматизованих сортувальних гірках виконується на парковій гальмівній позиції (ПГП). Швидкість виходу відцепів з цієї

позиції приймається, виходячи з умови забезпечення швидкості зіткнення вагонів на сортувальних коліях в межах, встановлених ПТЕ [5]. У зв'язку з відсутністю достовірної інформації про ходові властивості відцепів режим їх гальмування на ПГП встановлюється, виходячи з умови підходу відчепа з найменшим можливим значенням основного питомого опору руху для вагонів його вагової категорії до вагонів, що знаходяться на сортувальній колії зі швидкістю 5 км/год. Оскільки в розробленій моделі основний питомий опір вагонів у складі відчепа розглядається як випадкова величина, то при моделюванні скочування вагонів з великими значеннями основного питомого опору вибір режиму гальмування відцепів на ПГП за таким методом призводить до появи «вікон» на сортувальних коліях.

Слід також зазначити, що при зіткненні вагонів на сортувальній колії з деякою швидкістю виникає процес проштовхування. При моделюванні цього процесу маса об'єднаного відчепа встановлюється як:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2,$$

де Q_1 та Q_2 – відповідно, маса відчепа, що скочується, та маса групи вагонів, що знаходиться на сортувальній колії, т;

Початкова швидкість об'єднаного відчепа визначається з умови збереження енергії за допомогою виразу [6]:

$$v_3 = \sqrt{\frac{Q_1 v_{\text{підх}}^2 - 4Q_2 A_{\text{руш}} \cdot g' 10^{-3}}{2(Q_1 + Q_2)}},$$

де $v_{\text{підх}}$ – швидкість підходу відчепа до групи вагонів, що знаходиться на сортувальній колії, м/с;

$A_{\text{руш}}$ – робота на зрушення групи вагонів, які знаходяться на сортувальній колії, кГм;

g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с².

Для оцінки адекватності розробленого методу моделювання процесу заповнення сортувальних колій використано параметричний критерій Уїлкоксона [7]. При цьому було виконано порівняння двох вибірок значень величини «вікна», отриманих за даними моделювання та в результаті натурних спостережень на станції Нижньодніпровськ-Вузол. У результаті перевірки встановлено, що вказані вибірки статистично не розрізняються, а отже запропонована модель є адекватною і може використовуватись для подальших досліджень сортувального процесу.

Осаджування або підтягування вагонів виконується у тому випадку, коли відстань між

вагонами, що знаходяться на сортувальній колії, і парковою гальмівною позицією не перевищує довжини наступного відчепа, який прямує на дану колію. Витрати часу на виконання маневрів з підготовки сортувальних колій до розформування чергового состава розраховуються по піврейсах за формулою:

$$t = a + bm,$$

де a і b – нормативи часу на напіврейси перестановки, визначені за умови виконання маневрів з виключеними гальмами [1], хв.;

m – кількість вагонів у маневровому составі.

При цьому також враховується тривалість піврейсів заїзду маневрового локомотива на сортувальну колію та виїзду з неї. У випадку, коли кількість вагонів на колії перевищує норму по накопиченню, моделюється перестановка состава із сортувального парку в парк відправлення.

В результаті виконаних експериментів з моделлю для кожного сформованого состава отримано значення тривалості маневрових операцій з підготовки відповідної сортувальної колії до розформування наступного состава осаджуванням та підтягуванням. В залежності від фактичного розташування груп вагонів на колії перед початком маневрів, тривалість виконання маневрових операцій одним з цих двох способів є мінімальною. Тому загальний час на підготовку сортувальних колій до розформування потоку составів на протязі досліджуваного періоду визначається за формулою:

$$T_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^n \min(t_{\text{ос},j}; t_{\text{підт},j}),$$

де $t_{\text{ос}}$, $t_{\text{підт}}$ – відповідно тривалість осаджування та підтягування;

n – загальна кількість виконаних маневрових операцій по ліквідації «вікон» на сортувальних коліях за досліджуваний період;

Для аналізу впливу параметрів сортувальних колій та характеристик вагонопотоків на процес накопичення составів виконано моделювання скочування потоку відцепів трьох призначень на колії сортувального парку. Характеристики відповідних вагонопотоків наведено у табл. 1.

На основі статистичної обробки результатів моделювання для кожного призначення отримано залежність тривалості маневрових операцій по підготовці сортувальних колій до розпуску від параметрів позовжнього профілю відповідних колій (рис. 3).

Таблиця 1

Характеристики вагонопотоків на окремі призначення

№ призначення	Математичне очікування кількості вагонів у відцепі, ваг.	Математичне очікування маси брутто вагона, т	Потужність призначення, ваг.
1	4,4	55,0	42
2	2,5	60,3	231
3	3,5	63,7	157

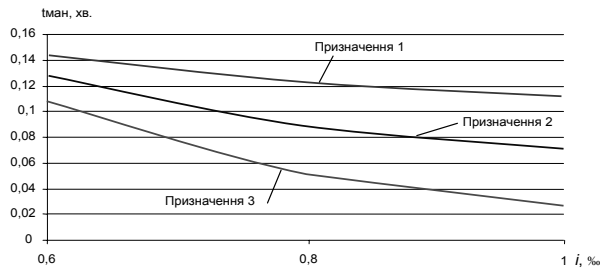


Рис. 3 Питова тривалість маневрових операцій з ліквідації «вікон» в розрахунку на один вагон в залежності від уклону сортувальних колій

Розрахунок витрат часу на маневрові операції, що пов'язані з підготовкою сортувальних колій до розпуску, в залежності від прийнятої спеціалізації сортувальних колій, наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Витрати часу на підготовку колій до розпуску при різних їх спеціалізаціях

№ призначення	Розподіл призначень по сортувальним коліям			T _{пр} , хв
	колія № 11	колія № 12	колія № 13	
1	1	2	3	31,1
2	1	3	2	30,8
3	2	1	3	39,2
4	2	3	1	42,2
5	3	1	2	38,7
6	3	2	1	42,0

Таким чином, виконані дослідження дають підстави зробити висновок, що зміна спеціалізації сортувальних колій суттєво (до 27 %) впливає на тривалість їх підготовки до розформування.

На великих сортувальних станціях зі значною кількістю колій у сортувальних парках перерозподіл колій між призначеннями плану формування призводить до зміни тривалості маневрових операцій близько 1,0...1,5 год. на добу та суттєвої зміни у завантаженні маневрових локомотивів. Тому витрати, що пов'язані з підготовкою сортувальних колій до розформування, повинні враховуватись при оптимізації розподілу сортувальних колій під призначення плану формування. При цьому техніко-економічна оцінка можливих варіантів спеціалізації сортувальних колій може бути виконана за допомогою запропонованої імітаційної моделі накопичення составів у сортувальному парку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Руководство по технологическому нормированию маневровой работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1978. – 56 с.
2. Бобровский, В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 3-8.
3. Козаченко Д. М. Дослідження впливу параметрів відцепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 78-82.
4. Рогов, Н. В. Исследование условий разделения отцепов на стрелках [Текст] / Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 15. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 114-119.
5. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – К.: МТУ, 2003. – 133 с.
6. Кузьмин, А. Н. Регулирование скорости движения отцепов на подгорочных путях [Текст] / А. Н. Кузьмин // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций. – Новосибирск: НИИЖТ, 1965. – С. 131-138.
7. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

Надійшла до редколегії 25.08.2008.

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Для пассажирских вагонов разработаны научные основы с обоснования срока эксплуатации с учетом их технического состояния та розділення міжремонтних циклів для вагонів з різними об'ємами ремонту.

Для пассажирских вагонов разработаны научные основы по обоснованию срока эксплуатации с учетом их технического состояния и разделению межремонтных циклов для вагонов с разными объемами ремонта.

For passenger coaches the scientific bases on substantiation of the operation time with the account of their technical conditions and separation of the inter-repair cycles for coaches with different repair amounts are developed.

Актуальним для залізничного транспорту України є раціональне використання рухомого складу, насамперед це стосується пасажирських вагонів. Оновлення парку пасажирських вагонів здійснюється за рахунок придбання нових вагонів, але основний резерв в забезпеченні пасажирських перевезень пов'язаний з оптимальним використанням існуючих вагонів, в тому числі з урахуванням заходів з подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів.

Забезпечення пасажирських перевезень рухомим складом, який відповідає сучасним вимогам комфортного перевезення пасажирів та багажу, в умовах недостатньої кількості нових пасажирських вагонів на залізницях України потребує розробки системи ремонту, яка б максимально забезпечувала підтримання рухомого складу у працездатному стані.

Важливим у цьому питанні є розробка цілої низки заходів, пов'язаних з ремонтом, подовженням терміну служби та виключенням з інвентарного парку вагонів. Планування життєвого циклу для кожного типу пасажирських вагонів дозволить з максимальною ефективністю спланувати витрати коштів на ремонт пасажирських вагонів з урахуванням їх реального технічного стану та умов подальшої експлуатації.

Дуже важливим при побудові життєвого циклу є правильне планування міжремонтних циклів, а саме, періодичності планових видів ремонту: деповського – ДР, капітальних, першого об'єму – КР-1, та другого об'єму – КР-2, крім того капітально-відновлювального ремонту – КВР, або капітального ремонту з подовженням терміну служби – КРП. Для оцінки стану пасажирських вагонів після закінчення терміну служби (25 років вагони-ресторани, 28 років інші типи пасажирських вагонів) проводиться технічне діагностування (ТД). Технічне діагно-

стування включає в себе комплекс робіт, пов'язаний з визначенням технічного стану вагонів та підготовкою матеріалів і рекомендацій для можливого подовження терміну служби.

Проведення технічного діагностування з подальшим подовженням терміну служби може бути неодноразовим і залежить від технічного стану рухомого складу та року його побудови.

Для подовження терміну служби пасажирських вагонів пропонуються 20 варіантів можливих життєвих циклів (рис. 1 – 4). Кількість варіантів може бути значно більшою, оскільки кожний новий варіант є трансформацією попереднього.

Далі розглянемо більш ретельно кожний з можливих варіантів подовження терміну служби пасажирських вагонів.

У першому варіанті показано існуючу систему подовження терміну служби пасажирських вагонів на 5, 10 або 13 років після 28 років роботи та технічного діагностування. Періодичність технічного діагностування – не більше 5 років. Загальний термін подовження терміну служби – 13 років. Деповські ремонти ДР проводяться через 2 роки після капітальних та деповських ремонтів, капітальні ремонти першого об'єму КР-1 – через 5 років. Недоліком цього варіанту є те, що між ДР та ДР та між ДР та КР-1 міжремонтний період не однаковий.

За другим варіантом, враховуючи поганий стан вагонного парку та необхідність підтримання його в працездатному стані, ДР для вагонів, старших 28 років без виконання КВР, КРП, доцільно проводити щорічно, КР1 – через п'ять років. Ця періодичність ремонту була врахована при розробці та затвердженні нової редакції наказу «Про впровадження системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів». За цим варіантом можна

планувати ремонт вагонів, які мають підвищені об'єми ремонту, наприклад відкритого типу.

Третій варіант повторює періодичність ремонту за другим варіантом, але після 13 років експлуатації передбачено проведення технічного діагностування ТД та подовження терміну служби. За цим варіантом можна планувати ремонт вагонів, які мають підвищені об'єми ремонту, наприклад відкритого типу.

За четвертим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на загальний термін 5...19 років після 28 років роботи та технічного діагностування. Періодичність між КР-1 та технічним діагностуванням спочатку 5 років, а потім 4,5 років. Перший деповський ремонт проводиться через два роки, наступні – через півтора роки. Використання даної системи ремонту доцільно для вагонів з добрим технічним станом, які не мають значних пошкоджень, які впливають на несучу здатність рами та кузова, наприклад вагони купейного типу, СВ та ін. Цей варіант можна рекомендувати також для вагонів, які не використовуються у пасажирських перевезеннях (наприклад, вагони-дефектоскопи, колієвимірювальні вагони).

За п'ятим варіантом розглядається подовження терміну служби пасажирських вагонів згідно існуючої технології. Цей варіант передбачає виконання КРП після 28 років, перший деповський ремонт через 2 роки після КРП, інші деповські ремонти (ДР) через 1 рік після капітальних ремонтів та ДР, капітальний ремонт першого об'єму (КР-1) через 6 років після КРП та другий КР-1 через 5 років. Строк служби вагонів після 28 років збільшується на 13 років. Цей варіант передбачає значні матеріальні витрати.

У шостому варіанті показано подовження терміну служби пасажирських вагонів згідно існуючої технології за календарними строками. Цей варіант передбачає виконання КРП після 28 років ДР через 2 роки після капітальних ремонтів, КР-1 через 6 років після КРП та 5 років після КР-1. Строк служби вагонів після 28 років збільшується на 13 років.

За сьомим варіантом пропонується подовження терміну служби пасажирських вагонів на 15 років після 28 років роботи та КРП за фактичним пробігом. Особливістю цього варіанту є те, що між деповськими ремонтами та між капітальним та деповським ремонтами термін складає 1,5 року. Перший КР-1 проводиться через 6 років, другий – через 4,5 роки. За цим варіантом можна планувати ремонт вагонів, які

мають підвищені об'єми ремонту, наприклад відкритого типу.

За восьмим варіантом пропонується подовження терміну служби пасажирських вагонів на 16 років після 28 років роботи та КРП. Капітальний ремонт КР-1 виконується через 6 років. Деповський ремонт виконується через 2 роки після попереднього. Використання даної системи ремонту доцільно для вагонів з добрим технічним станом, які не мають значних пошкоджень, що впливають на несучу здатність рами та кузова, наприклад вагони купейного типу, СВ та ін. Цей варіант можна рекомендувати також для вагонів, які не використовуються у пасажирських перевезеннях (наприклад, вагони-дефектоскопи, колієвимірювальні вагони).

За дев'ятим варіантом пропонується подовження терміну служби пасажирських вагонів на 15 років після 28 років роботи та КРП. Капітальні ремонти проводяться через 5 років, деповські ремонти – через 2 роки після капітальних. Інші міжремонтні інтервали становлять 1,5 роки.

За десятим варіантом пропонується подовження терміну служби пасажирських вагонів на 16 років після 28 років роботи та КРП. Цей варіант відрізняється від варіанту 8 тим, що перший КР-1 проводиться через 6 років після КРП, а наступні – через 4 роки. Деповські ремонти проводяться з тією ж періодичністю – 2 роки.

За одинадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби пасажирських вагонів на 18 років після 28 років роботи та КРП. Цей варіант відрізняється від варіанту 8 додатковим деповським ремонтом, після якого термін служби збільшується до 18 років.

За дванадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на загальний термін 16...20 років після 28 років роботи, КРП та технічного діагностування ТД і додатковим подовженням терміну служби. Цей варіант до 13 років повторює варіант № 8, а далі вагон експлуатується за варіантом 4.

За тринадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на загальний термін 15...20 років після 28 років роботи та технічним діагностуванням ТД і додатковим подовженням терміну служби на термін до 1 року після технічного діагностування. Цей варіант до 15 років повторює варіант № 7, а далі вагон експлуатується за варіантом 4.

За чотирнадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на загальний термін 18...23 років після 28 років роботи

За шістнадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на 23 роки

За сімнадцятим варіантом пропонується продовження терміну служби вагонів на 23 роки після 28 років роботи та капітально-відновлювального ремонту КВР. Перший КР-1 проводиться через 6 років після КВР, а наступні – через 4 роки. Деповські ремонти проводяться з періодичністю 2 роки.

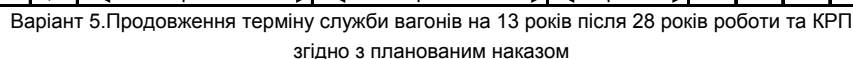
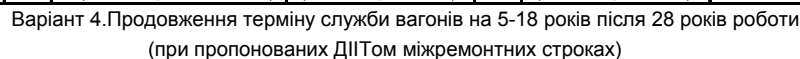
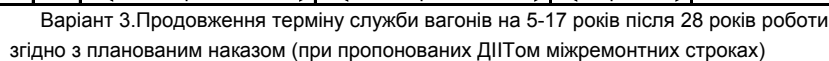
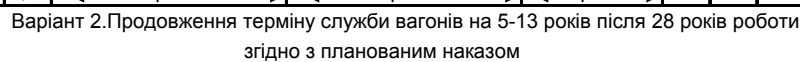
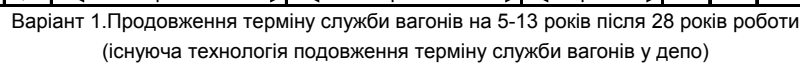
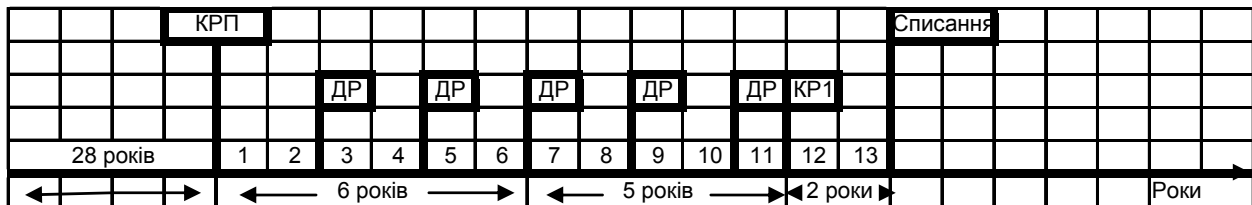


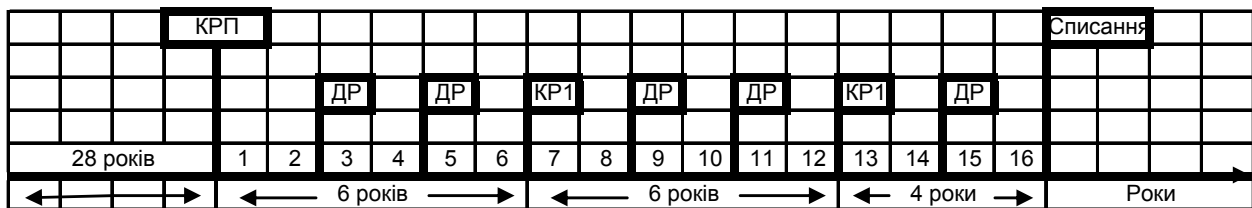
Рис. 1. Варіанти подовження терміну служби пасажирських вагонів після 28 років роботи



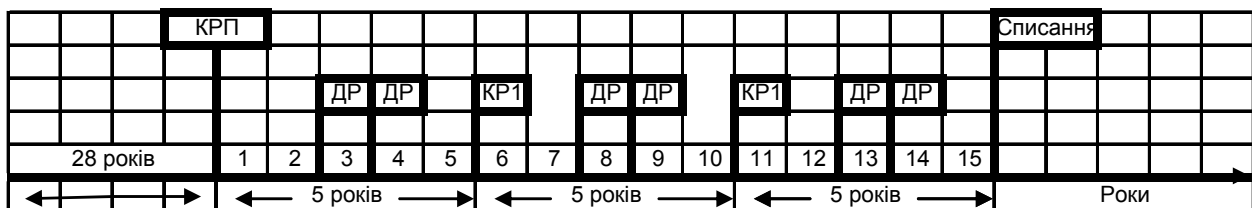
Варіант 6.Продовження терміну служби вагонів на 13 років після 28 років роботи та КРП
(існуюча технологія подовження терміну служби вагонів за календарними строками в роках)



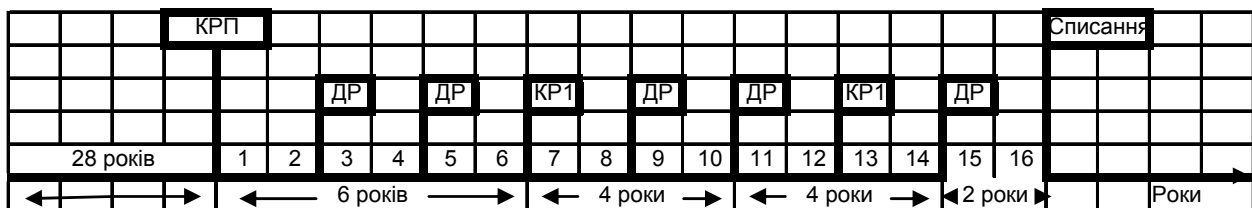
Варіант 7.Продовження терміну служби вагонів на 15 років після 28 років роботи та КРП
при пропонованих ДІІТом міжремонтних строках



Варіант 8.Продовження терміну служби вагонів на 16 років після 28 років роботи та КРП
при пропонованих ДІІТом міжремонтних строках

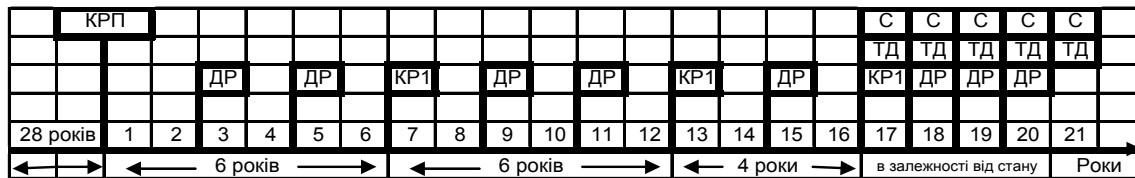


Варіант 9.Продовження терміну служби вагонів на 15 років після 28 років роботи та КРП
при пропонованих ДІІТом міжремонтних строках

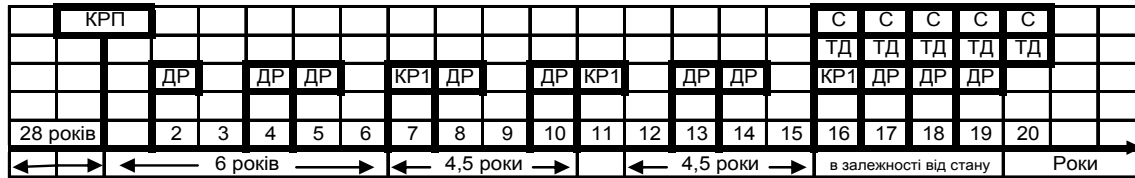


Варіант 10.Продовження терміну служби вагонів на 16 років після 28 років роботи та КРП
при пропонованих ДІІТом міжремонтних строках

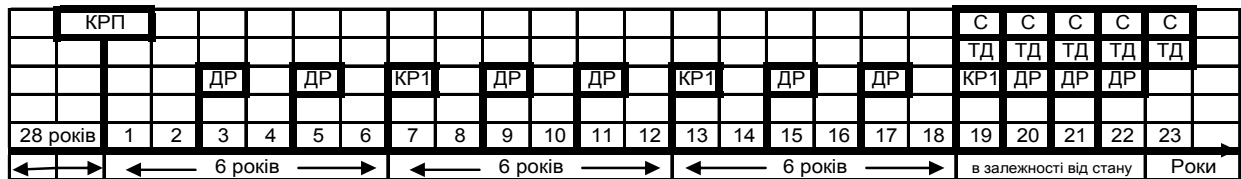
Рис. 2. Варіанти подовження терміну служби пасажирських вагонів після 28 років роботи
з виконанням КРП в умовах депо та на заводах (крім ДВРБ)



Варіант 12.Продовження терміну служби купейного вагона на 16-20років після 28 років роботи та КРП (при пропонованих ДІІТом міжремонтних строках)



Варіант 13.Продовження терміну служби плацкартного вагона на 15-20років після 28 років роботи та КРП (при пропонованих ДІІТом міжремонтних строках)



Варіант 14.Продовження терміну служби купейного вагона на 18-23 роки після 28 років роботи та КРП (пропонована ДІІТом технологія подовження терміну служби вагонів в депо та на заводі)

Рис. 3. Варіанти подовження терміну служби пасажирських вагонів після 28 років роботи

За вісімнадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на 23 роки після 28 років роботи та капітально-відновлювального ремонту. КР-1 проводиться через кожні 6 років. Деповські ремонти проводяться з періодичністю 2 роки, після останнього КР-1 періодичність ДР спочатку – 2 роки, а потім – 1,5 року.

За дев'ятнадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на 23...27 років після 20 років роботи та КВР.

Цей варіант до 23 років після КВР повторює варіант № 18, а далі після 23 років експлуатації проводиться технічне діагностування ТД та подовження терміну служби з періодичністю 1 рік на термін до 4 років.

За двадцятим варіантом пропонується подовження терміну служби вагонів на 23...27 років після 20 років роботи та КВР за фактичним пробігом. Цей варіант до 23 років після КВР повторює варіант № 17, а далі після 23 років експлуатації проводиться технічне діагностування ТД та подовження терміну служби з періодичністю 1 рік на термін до 4 років. В результаті, за варіантами 3, 4, 12 – 14 можна додатково подовжити термін служби пасажирських вагонів після технічного діагностування ще від 1-го до 4-х років з періодичністю 1 рік.

Проведені дослідження системи ремонту та міжремонтних циклів дозволяють зробити висновки:

- доцільно розділити міжремонтні цикли для вагонів з різними об'ємами ремонту, наприклад відкритого типу та купейного типу, СВ та ін.;

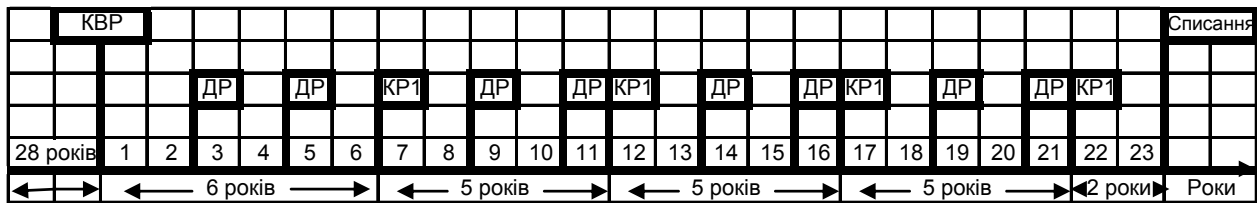
- для вагонів з різними об'ємами ремонту запровадити різні варіанти подовження терміну служби з різними міжремонтними циклами;

- списання вагонів проводити тільки після технічного діагностування. Це дозволить залишити в експлуатації вагони, які можуть в подальшому використовуватися у обмеженому об'ємі (наприклад не для перевезення пасажирів).

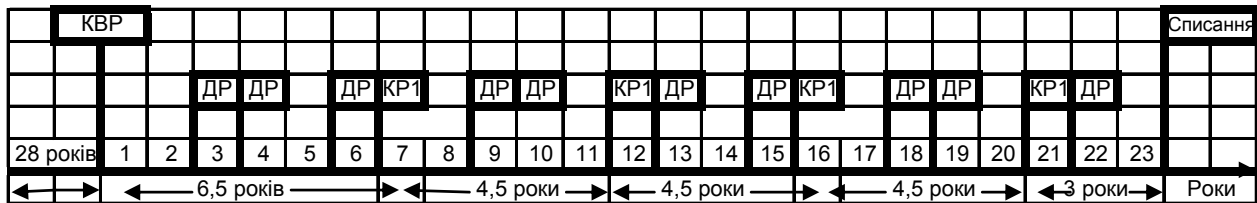
Таким чином, розроблені наукові основи з обґрунтування терміну експлуатації пасажирських вагонів з урахуванням їх технічного стану та розділення міжремонтних циклів для вагонів з різними об'ємами ремонту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

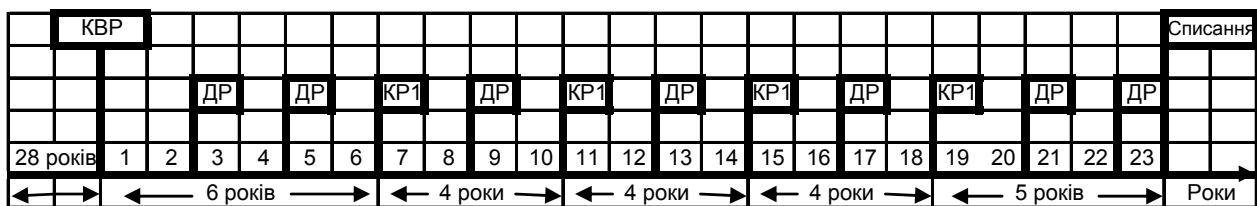
1. Аксенов, И. М. Эффективность пассажирских железнодорожных перевозок [Текст]: монография / И. М. Аксенов. – К.: Транспорт Украины, 2004. – 284 с.
2. Наказ Укрзалізниці № 550-Ц від 29 жовтня 2002 р. «Про впровадження системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів» [Текст].
3. Марко, В. В. Обновление пассажирского вагонного парка путем капитально-восстановительного ремонта [Текст] / В. В. Марко, И. В. Мариненко, О. М. Савчук // Заліз. трансп. України. – К., 2000. – № 3. – С. 14-17.



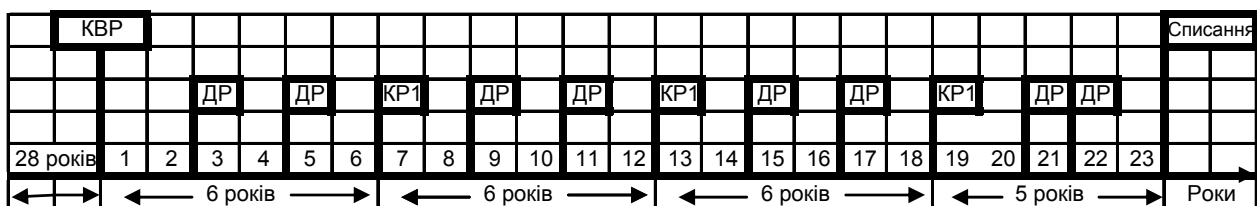
Варіант 15.Продовження терміну служби вагонів на 23 роки після 28 років роботи та КВР
(при існуючих міжремонтних строках)



Варіант 16.Продовження терміну служби вагонів на 23 роки після 28 років роботи та КВР
(при пропонуванних УЗ міжремонтних строках)



Варіант 17.Продовження терміну служби вагонів на 23 роки після 28 років роботи та КВР
(при пропонуванних ДІІТом міжремонтних строках)



Варіант 18.Продовження терміну служби вагонів на 23 роки після 28 років роботи та КВР
(при пропонуванних ДІІТом міжремонтних строках)



Варіант 19.Продовження терміну служби купейного вагона на 23-27 роки після 20 років роботи та КВР (при пропонуванних ДІІТом міжремонтних строках)

Рис. 4. Варіанти подовження терміну служби пасажирських вагонів після 20 та 28 років роботи та виконання КВР

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ РАБОТЫ РЕМОНТНЫХ МОДУЛЕЙ ПОТОЧНОЙ ВАГОНРЕМОНТНОЙ ЛИНИИ С ГИБКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Розглянуто метод формалізації процесу роботи ремонтного модулю потокової лінії для ремонту вагонів з гнучкою транспортною системою. В якості математичної схеми процесу функціонування модулю запропонована окрема схема кусково-лінійного агрегату з теорії агрегатів. Ця схема може бути покладена в основу розробки імітаційних моделей для проектування та дослідження поточкових вагоноремонтних ліній нової генерації.

Рассмотрен метод формализации процесса работы ремонтного модуля поточной линии для ремонта вагонов с гибкой транспортной системой. В качестве математической схемы процесса функционирования модуля предложена частная схема кусочно-линейного агрегата из теории агрегатов. Данная схема может быть положена в основу разработки имитационных моделей для проектирования и исследования поточных вагоноремонтных линий нового поколения.

The method of formalization of the repair module work process of the car-repair flow line with flexible transport system is considered. As the mathematical scheme of process of the module functioning, the specific scheme of a piecewise-linear unit from the theory of units is offered. The given scheme can be put in a basis of development of imitating models for designing and research of the car-repair flow lines of new generation.

При проектировании и строительстве существующих депо, использующих « типовые » поточные линии для ремонта вагонов, недостаточно уделялось внимания вопросам предпроектного анализа и моделирования технологических процессов. Поэтому неэффективность принятых проектных решений обнаруживалась только в ходе эксплуатации таких линий. А это уже затраченные огромные средства. Невооружённым глазом видна нерациональность такого подхода к разработке сложных производственных систем (СПС) как по времени, так и по затратам.

Особенности вагоноремонтного производства требуют учёта большого числа случайных факторов, оказывающих существенное влияние на работу поточных линий. Задача состоит в том, чтобы своевременно выявить эти факторы и уже с их учётом создавать такие производственные системы, которые могли бы легко адаптироваться к постоянно изменяющейся ремонтной среде. Существующие в настоящее время поточные линии для ремонта вагонов очень плохо приспособлены к условиям стохастического производства. Они очень чутко реагируют на любые колебания трудоёмкостей ремонтных работ. Вместе с тем, сегодня уже возможны и другие структурные варианты поточных линий, например, гибкие. В случае гибкой поточной линии появляется дополнительная свобода действий, которая проявляется в зна-

чительном увеличении числа альтернативных вариантов принятия управленческих (проектных) решений и согласования взаимодействия между отдельными производственными элементами. Это позволяет сглаживать многие производственные ситуации, вызванные нестабильностью ремонтной среды.

В связи с этим остро встаёт вопрос, связанный с более детальными проработками технологических решений ещё на стадии проектирования объектов. Одним из самых мощных инструментов на этой стадии должно явиться моделирование. По сути дела, моделирование – это имитация практической апробации будущего производства. Ранее автором уже рассматривались некоторые подходы к имитационному моделированию работы поточных вагоноремонтных линий с разными структурами [1–5].

При разработке модели имеют место различные степени абстрагирования. Остановимся только на крайних вариантах. Нижним уровнем выступает физическое моделирование, при котором функционирование объекта проверяется на модели, отличающейся от оригинала, в лучшем случае, размерами. Физические модели с учётом требований, вытекающих из теории подобия, соответствуют неплохой адекватности исследуемому объекту, а, следовательно, и высокой достоверности результатов моделирования. Общими недостатками таких моделей являются большая стоимость, отсутствие универ-

сальности и длительная продолжительность эксперимента.

Верхним уровнем является математическое моделирование. Оно позволяет избежать существенных затрат, значительно сократить время проектирования, исключить метод натурных проб и ошибок. Поэтому для описания процессов, происходящих на поточной линии, мы будем пользоваться исключительно математическими моделями.

Согласно технологическому процессу, каждый ремонтируемый вагон должен последовательно пройти через ряд специальных позиций (участков): мойки, диагностики, разборки, ремонта, сборки, окраски и сушки. Кроме того, вагоны должны перемещаться при помощи трансбордерных тележек и где-то находиться в период ожидания выполнения следующего комплекса работ. Таким образом, гибкая поточная линия для ремонта вагонов представляет собой сложную организационно-технологическую систему, состоящую из отдельных элементов (подсистем), которые находятся в постоянном взаимодействии друг с другом.

При расчленении поточной линии как сложной системы на отдельные элементы будем считать, что для достаточной глубины проработки в качестве отдельных элементов целесообразно принимать всевозможные технологические модули. Такими модулями могут быть «ремонтный модуль» (РМ), «транспортный модуль» (ТМ), «модуль для ожидания» (ОМ).

В данной работе мы остановимся пока только на математической схеме функционирования ремонтного модуля. Под «ремонтным модулем» (РМ) будем понимать часть территории специализированной позиции, необходимой для размещения одного вагона, оснащённой специальным оборудованием, укомплектованной производственным персоналом и предназначенной для выполнения определённого комплекса технологических операций. На каждой позиции может находиться несколько однотипных, взаимозаменяемых РМ. Ремонтные модули одной позиции полностью идентичны. В настоящее время возможны различные структурные схемы организации поточных линий. В зависимости от вариантов компоновки поточной линии РМ могут быть связаны между собой напрямую (используется традиционный грузоведущий конвейер) либо через трансбордерные тележки. В варианте жёсткой поточной линии количество РМ соответствует фронту работы (число одновременно ремонтируемых вагонов). Для гибкой поточной линии количество РМ всегда превышает фронт работы поточной линии.

Любые процессы физической природы принято рассматривать в пространстве и во времени. Даже в самом примитивном случае механического движения возникает вопрос о перемещении, которое определяется изменением положения тела в пространстве в течение определённого интервала времени. Рассматривая эту концепцию в более широком смысле, и распространяя её на другие явления, в том числе производственные, под «положением» будем понимать «состояние»: $z(t)$ – состояние системы в момент времени t , а под «перемещением» – «процесс». Процесс представляет собой постоянный «переход» системы из одного состояния в другое.

Рассматриваемая нами система – поточная линия для ремонта вагонов – носит дискретный стохастический и динамический характер.

В дальнейшем, наравне с уже приведенной терминологией, будем также пользоваться известной терминологией теории массового обслуживания.

Поведение системы будем рассматривать на некотором интервале времени $[0, T]$. Будем считать, что характеристики системы изменяются во времени дискретно. Эти условия отражают динамический характер функционирования системы. Авторы [6] определяют динамическую систему как структурированный объект, в который периодически можно вводить и из которого можно выводить вещество, энергию и информацию. Это свидетельствует о том, что такая система обязательно должна иметь вход и выход.

Описание такой системы в виде единого вероятностного процесса было бы слишком громоздким. Поэтому напрашивается решение, связанное с моделированием каждой отдельной подсистемы и дальнейшей увязкой их между собой. Анализ такой системы, определение её структуры и основных параметров возможно за счёт использования математических имитационных моделей.

При выборе схемы формализации процесса функционирования СПС очень важно учесть два принципиальных момента: 1. Получить наиболее простую модель процесса функционирования системы; 2. Добиться как можно более точных результатов расчёта. В нахождении компромисса между этими двумя противоречивыми условиями и состоит задача оптимального моделирования.

Унифицированная имитационная модель функционирования различных систем может быть представлена в виде стандартной математической схемы – агрегата [7–8]. Такая схема предназначена для изучения сложных структур, состоящих из элементов, представленных ди-

намическими системами в широком понятии: непрерывно-детерминированными, дискретно-детерминированными, дискретно-стохастическими и непрерывно-стохастическими.

В качестве математического описания модулей для ремонта вагонов попытаемся воспользоваться моделью кусочно-линейного агрегата (КЛА) [7–9]. КЛА представляет собой частный случай динамической стохастической системы с дискретным казуальным вмешательством.

КЛА принадлежит к категории объектов, которые можно представлять в виде преобразователя информации (рис. 1). Он функционирует во времени $t \in T$, может получать входные сигналы x со значениями из некоторого множества X , посылать выходные сигналы y со значениями из некоторого множества Y и находиться в определенных моменты времени в некотором состоянии z из некоторого множества Z .

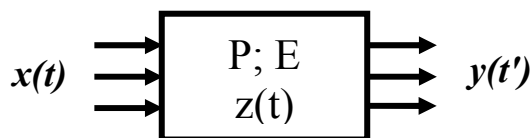


Рис. 1. Общий вид кусочно-линейного агрегата

Динамике КЛА присущ «событийный» характер. Все события будем делить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние события состоят в достижении траекториями КЛА некоторого подмножества состояний $z^* \in Z$, внешние – в получении входного сигнала.

Как уже было отмечено ранее, КЛА имеет вход и выход. На вход КЛА в дискретные моменты времени t_i поступают входные сигналы. Будем считать, что длительность сигнала очень незначительная – практически мгновенная. В качестве поступающих сигналов может быть информация о том, что перед обслуживающим каналом появилось требование (ремонтируемый вагон), которое нуждается в обслуживании или, например, что требование уже поступило в обслуживающий канал, и он может приступить к обслуживанию.

На выход КЛА поступают выходные сигналы. Выходной сигнал $y(t')$ принадлежит множеству Y , $y(t') \in Y$. В качестве выходного сигнала может быть, например, информация о том, что канал закончил обслуживание требования или, например, требование покинуло канал (РМ свободен). В нашем случае требование не всегда сразу же покидает канал после обслуживания – должно быть свободное место в очереди к следующему каналу.

КЛА в промежутке между дискретными значениями времени поступления сигналов может находиться в одном из возможных со-

стояний: 1. Агрегат находится в стадии ожидания поступления требования (вагона); 2. Агрегат находится в стадии обслуживания требования; 3. Агрегат уже обслужил требование и находится в стадии ожидания, когда оно покинет агрегат; 4. Требование находится в агрегате, но агрегат его не обслуживает по причине отказа (поломки); 5. Агрегат находится в стадии ремонта, требование в агрегате отсутствует.

Ремонтный модуль (РМ) представляет собой одноканальную систему массового обслуживания (СМО) с неограниченным ожиданием. Правда, в отличие от обычных «классических» СМО, когда требование может без особых проблем стать в очередь на обслуживание или легко покинуть систему после обслуживания, данная СМО имеет ряд специфических особенностей. Например, учитывая большие габариты требований (ремонтируемые вагоны), не всегда может быть в наличии необходимое количество мест для ожидания или, например, не всегда может быть готовым транспортное средство, предназначенное для перемещения требований. Это всё накладывает дополнительные условия на её функционирование. Есть и другие особенности.

Представим СМО в виде кусочно-линейного агрегата. КЛА является собой частный случай стохастической динамической системы с дискретным казуальным вмешательством.

КЛА функционирует следующим образом. В дискретные моменты времени t_i перед КЛА появляются требования на обслуживание. Каждое требование характеризуется параметром a . Если агрегат свободен, то требование начинает обслуживаться. Если агрегат занят, то требование становится в очередь. В общем случае, когда имеется несколько агрегатов, расположенных параллельно, то требование ожидает, какой из агрегатов освободится раньше.

Состояние КЛА в момент времени $t \in T$ будем обозначать вектором $z(t) \in Z$, где Z – множество состояний КЛА. Переход КЛА из состояния $z_1(t)$ в состояние $z_2(t)$ и так далее происходит за очень непродолжительный момент времени, практически равный нулю, т.е. – скачкообразно. Момент скачка определяется входными сигналами $x(t) \in X$ и внутренними параметрами самого КЛА, $g(t) \in G$.

Будем считать, что в начальный момент времени $t_n \in T$ система пребывает в начальном состоянии $z_n \in Z$, где z_n – точка, находящаяся внутри замкнутого n -мерного евклидова пространства Z . Проследим за изменением состояния системы от действия внутренних причин. Под действием этих причин система может переходить из состояния z_n в другие состояния $z_t \in Z$, совершая движения $z(t)$, где $t > t_n$. Точка

z_1 будет перемещаться в пространстве до тех пор, пока не выйдет на границу области Z . Момент времени выхода на границу обозначим через t^* .

Для всех t совокупность (t, z_t) таких, что $t_n \leq t \leq t^*$, а $z_t = z(t)$ представляет собой фрагмент движения на отрезке (t_n, t^*) . Этот фрагмент движения назовём перемещением точки z_1 внутри пространства Z . Для задания этого перемещения следует указать соотношения, которые определяют z_t для $t \in (t_n, t^*)$ по заданным значениям t_n и z_n .

Для определения момента t^* и самого состояния системы в этот момент $z(t^*)$ следует решить совместно уравнения движения точки и уравнения, которые описывают границу пространства состояний Z .

Моменты времени получения входных или выдачи выходных сигналов назовём «контрольными» моментами времени t^* . А состояния КЛА в контрольные моменты времени – «критическими» состояниями $z(t^*)$. После «критического» состояния КЛА скачком может перейти в новое состояние.

В основу формализации общей схемы процесса функционирования системы положим следующие принципы: 1. Система функционирует во времени и в каждый момент времени может находиться в одном из возможных состояний; 2. На вход системы поступают сигналы; 3. Система может подавать выходные сигналы; 4. Состояние системы в некоторый момент времени определяется предыдущим состоянием системы, а также входными сигналами, которые поступили в данный момент времени и ранее; выходной сигнал в некоторый момент времени определяется состояниями системы и входными сигналами, относящимися к настоящему и предыдущим состояниям. Попытаемся дать формальную интерпретацию каждому принципу.

КЛА в дискретные моменты времени $t_{\text{вых}}^*$ подаёт выходные сигналы y . Выходной сигнал y принадлежит множеству Y , $y \in Y$ и определяется по состоянию агрегата $z(t)$ при помощи оператора выхода E .

Кроме состояния $z(t)$, будем также рассматривать и состояние $z(t+0)$. Условимся, что для всякого $(t_1 > t)$ момент $(t+0)$ находится в полуинтервале $(t, t_1]$. Для любого момента времени t состояние агрегата $z(t)$ может быть получено по предыдущим состояниям с помощью случайно-го оператора перехода P .

В начальный момент времени t_n система находится в состоянии z_n . Будем считать, что процесс функционирования агрегата в момент поступления входного сигнала x описывается подоператором перехода P_1 . Поэтому в момент

прихода в агрегат $t_{\text{вх}}^* \in T$ входного сигнала x состояние системы можно определить следующим образом: $z(t_{\text{вх}}^*+0) = P_1[t_{\text{вх}}^*, z(t_{\text{вх}}^*), x]$.

Если полуинтервал времени $(t_{\text{вх}1}^*, t_{\text{вх}2}^*)$ не содержит моментов поступления входных сигналов, кроме $t_{\text{вх}2}^*$, то для $t \in (t_{\text{вх}1}^*, t_{\text{вх}2}^*)$ состояние КЛА определяет подоператор P_2 , $z(t) = P_2[t, t_{\text{вх}1}^*, z(t_{\text{вх}1}^*+0)]$.

Оба подоператора P_1 и P_2 рассматриваются как совокупный оператор перехода КЛА в новое состояние.

Рассмотрим работу оператора выхода E . Представим его в виде двух подоператоров E_1 и E_2 . Подоператор E_1 определяет моменты выдачи выходных сигналов, а подоператор E_2 – их содержание.

Момент подачи выходного сигнала определяется следующим порядком. Пусть задано подмножество состояний агрегата Z_y , при достижении которых он должен посылать выходной сигнал. Подоператор E_1 представляет характеристическую функцию подмножества Z_y : если $z(t) \in Z_y$, то $E_1 = 1$, а если $z(t) \notin Z_y$, то $E_1 = 0$. Поэтому математическая модель формирования выходного сигнала будет иметь вид

$$y(t^*) = E_1[t_{\text{вых}}^*, z(t_{\text{вых}}^*), Z_y] E_2[t_{\text{вых}}^*, z(t_{\text{вых}}^*)].$$

Учитывая всё выше изложенное, под кусочно-линейным агрегатом (КЛА) будем иметь ввиду некий объект, представляемый совокупностью множеств T, X, Y, Z, Z_y, G и случайными операторами P и E .

Известно, что каждая ремонтная позиция представляет собой систему массового обслуживания [4]. В общем случае СМО состоит из двух подсистем: подсистемы ожидания обслуживания и подсистемы самого обслуживания. Для нашего случая, когда требованиями выступают крупногабаритные физические объекты – вагоны, должны быть предусмотрены соответствующие площади, на которых могли бы размещаться вагоны в период ожидания обслуживания и площади, на которых осуществляется само обслуживание.

Представим схему КЛА также в виде системы, состоящей из двух подсистем: подсистемы ожидания и подсистемы обслуживания. Подсистема обслуживания является основной подсистемой, а подсистема ожидания – вспомогательной. Каждое требование, чтобы получить обслуживание, обязательно должно пройти через подсистему обслуживания. В подсистему ожидания, требование попадает только в том случае, если в момент его поступления в систему, подсистема обслуживания оказывается занятой.

Ремонтный модуль представим в виде одноканальной системы массового обслуживания с неограниченным временем ожидания. Требова-

ние будет находиться в очереди до тех пор, пока не попадет на обслуживание. Покидать систему без обслуживания требование не имеет права. Продолжительность обслуживания требования является случайной величиной τ с заданной плотностью распределения $f(\tau)$.

Состояние КЛА $z(t)$ будем образно представлять точкой в многомерном пространстве. Изменение хотя бы одной координаты мгновенно изменяет положение точки и, таким образом, изменяет состояние всей системы.

При описании ремонтных модулей поточной линии в виде кусочно-линейных агрегатов будем считать, что основное состояние соответствует количеству требований (вагонов), находящихся в системе. А вектор дополнительных координат содержит информацию, которая необходима для вычисления дальнейшего протекания процесса $z(t)$.

Возьмём в качестве состояния КЛА пару v, z_v , т.е. $z = (v, z_v)$. Параметр v назовём дискретной составляющей состояния или основным состоянием, а z_v – вектором вспомогательных координат. Дискретная составляющая v показывает общее количество требований (вагонов), находящихся в системе (на обслуживании и в ожидании обслуживания), $v = (0, 1, 2, \dots, k)$. Максимальная величина этого параметра в общем случае определяется количеством обслуживающих каналов n на позиции и вместимостью зоны ожидания перед позицией l ; $k = (n + l)$. Параметр v может изменяться с единичной скоростью в сторону уменьшения или увеличения. Вектор z_v может иметь следующие координаты: $z_v = (\xi, \zeta)$, где $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ и $\zeta = (\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_l)$, а

ξ_1 – время, оставшееся до окончания обслуживания требования первым каналом;

ξ_2 – время, оставшееся до окончания обслуживания требования вторым каналом;

.....
 ξ_n – время, оставшееся до окончания обслуживания требования n -м каналом;

ζ_1 – время, оставшееся до начала обслуживания первого требования в очереди;

ζ_2 – время, оставшееся до начала обслуживания второго требования в очереди;

.....
 ζ_l – время, оставшееся до начала обслуживания l -го требования в очереди;

В момент времени, когда ξ_k станет равным нулю ($k = 1, 2, \dots, n$), т.е. обслуживание требования k каналом окончено, происходит изменение состояния системы (скачок). В этот момент дискретный параметр уменьшается на единицу $v' = v - 1$ (обслуженное требование покидает си-

стему). КЛА посылает выходной сигнал о том, что обслуживающий канал свободен. Аналогично, когда ζ_1 станет равным нулю (первое требование из очереди начало обслуживаться), также происходит изменение состояния системы (скачок).

Таким образом, математическая схема кусочно-линейного агрегата может быть положена в основу при разработке имитационных моделей работы гибких поточных линий для ремонта вагонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дударев, А. Е. Применение имитационного моделирования для анализа функционирования поточных вагоноремонтных линий с гибкими связями между производственными участками [Текст] / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин. – Д., 1986. – 16 с. – Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС 30.06.86, № 3582.
2. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Железнодорожный транспорт. Серия «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов. – Вып. 1. – М.: ОИ/ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – С. 1-11.
3. Мямлин, В. В. Применение теории сложных систем к исследованию работы поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Транспортные связи. Проблемы и перспективы: Докл. Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 29.05 – 30.05.2008). – Д., 2008. – С. 8.
4. Мямлин, В. В. Моделирование работы гибких поточных линий для ремонта вагонов как многофазных многоканальных систем массового обслуживания [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 68 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 22.05-23.05.2008). – Д., 2008. – С. 51-52.
5. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 15-17.
6. Калман, Р. Очерки по математической теории систем [Текст] / Р. Калман, П. Фалб, М. Арbib. – М.: Мир, 1971. – 214 с.
7. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
8. Бусленко, Н. П. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашник, И. Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.
9. Бусленко, В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем [Текст] (Серия «Библиотечка программиста») / В. Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.

Поступила в редакцию 29.08.2008.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ ЗМІННОГО СТРУМУ

У статті проаналізовано існуючі методи розрахунку електромагнітних процесів в системах тягового електропостачання змінного струму. Запропоновано досліджувати електромагнітні процеси сучасними методами імітаційного моделювання. Отримано вираз для розрахунку функцій струморозподілу за допомогою матричного методу. Приведено послідовність виконання імітаційного моделювання.

В статье проанализированы существующие методы расчета электромагнитных процессов в системах тягового электроснабжения переменного тока. Предложено исследовать электромагнитные процессы современными методами имитационного моделирования. Получено выражение для расчета функций токораспределения с помощью матричного метода. Приведена последовательность выполнения имитационного моделирования.

The existing methods of calculation of electromagnetic processes in the systems of traction AC power supply have been analyzed. The modern simulation methods for studying the electromagnetic processes have been proposed. The expression for calculation of current distribution functions by means of matrix algebra has been obtained. The sequence of simulation modeling has been presented.

На залізницях України, електрифікованих за системою змінного струму 27,5 кВ, як правило, застосовується електрорухомий склад з перетворювачами однофазного змінного струму в постійний. Перетворювачі, в свою чергу, живляться електричною енергією від системи зовнішнього електропостачання через систему тягового електропостачання. Безпеку руху на залізницях забезпечує система сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). Таким чином, з точки зору електромагнітної сумісності робота системи електрифікованого транспорту являє собою взаємодію чотирьох підсистем – підсистем зовнішнього і тягового електропостачання, електрорухомого складу та підсистем СЦБ. Перетворювачі електрорухомого складу є нелінійними, змінними в часі та просторі споживачами. Як відомо, будь-який нелінійний та змінний у часі споживач є джерелом погіршення якості електричної енергії [1]. В свою чергу, якість електричної енергії впливає на стан електромагнітної сумісності вищевказаних підсистем. Для забезпечення електромагнітної сумісності цих підсистем необхідно жорстко нормувати та контролювати показники якості електричної енергії тягових споживачів.

Оскільки досить складною є постановка експериментальних досліджень на діючих ділянках залізниць, тому вивчення електромагнітних процесів пропонується сучасними методами імітаційного моделювання системи тягового

електропостачання змінного струму з урахуванням специфіки роботи залізничного транспорту та вимог до якості електричної енергії.

Для розрахунку показників якості електроенергії необхідно розглядати більш складну схему заміщення системи тягового електропостачання змінного струму, що дозволяє визначати параметри хвильових процесів у тяговій мережі. Відомо, що хвильові процеси виникають внаслідок накладання коливань, викликаних перехідними процесами, що в свою чергу спричинені комутацією напівпровідникових пристроїв перетворювальних агрегатів електровозів [2–4].

В науковій літературі сформувались два основних напрями розрахунку систем тягового електропостачання змінного струму, які є колами змінного несинусоїдного струму з розподіленими нелінійними параметрами.

Перший напрям [5] базується на застосуванні модифікованого перетворення Лапласа, який дозволяє отримати результат розрахунку у вигляді рядів Фур'є без застосування формул розкладання. В цьому методі миттєві величини напруги і струму розглядаються функціями двох змінних: координати та часу. Причому по змінній координат застосовується пряме одностороннє перетворення Лапласа, а по змінній часу – перетворення Лапласа з кінцевими границями. Перше перетворення призводить до застосування інтегралу згортання, а друге до

зволяє результат розв'язку одразу виразити у вигляді масиву окремих гармонійних складових.

Другий напрям [2, 6] базується на визначенні активних та обмінних характеристик пасивного споживача електричної енергії, виходячи з фізичної сутності процесів споживання та обміну електричною енергією в системі тягового електропостачання змінного струму. При такому підході за заданими вхідними залежностями миттєвих струмів і напруги визначаються параметри схеми заміщення та встановлюються залежності зміни цих параметрів у часі, що називаються активними та обмінними характеристиками. Дослідження різноманітних станів електричних кіл та протікаючих в цих колах енергетичних процесів виконуються із застосуванням миттєвої форми виразів змінних електричних величин.

На першому етапі створення такої імітаційної моделі, що дозволить вивчати електромагнітні процеси в системі тягового електропостачання змінного струму за методами модифікованого перетворення Лапласа та активних і обмінних характеристик, необхідно дослідити миттєву схему розв'язувати для основної гармонійної складової в квазіусталеному режимі на кожному кроці моделювання. З точки зору універсальності, тобто для розв'язання схеми живлення будь-якої складності, найбільш завершеним є матричний метод аналізу електричних кіл. Для розрахунку показників якості електроенергії миттєві схеми необхідно розв'язувати з дискретизацією в часі щонайменше 0,02 с, що відповідає періоду основної гармонійної складової.

Нормативним документом ГОСТ 13109-97 для засобів вимірювальної техніки встановлено вимогу для коефіцієнту спотворення синусоїдності кривої напруги, яка відповідає дискретизації в часі 0,33 с, оскільки для визначення усередненого значення на інтервалі 3 с необхідно щонайменше 9 значень [7]. Тому основною задачею даної роботи є отримання універсального методу розрахунку систем тягового електропостачання змінного струму з мінімальними затратами часу для електронно-обчислювальних машин.

Застосування матричного методу до розрахунку розгалужених схем живлення тягової мережі передбачає послідовне складання та обернення матриць на кожному кроці імітаційного моделювання. Так, тривалість розрахунків, результати яких використано в статті [8], з дискретизацією в часі 1 хв. складала близько 2 діб.

Значна частина машинного часу використовується саме на виконання матричної операції обернення у виразі для визначення вектору струму в кожній вітці графа згідно [9]:

$$I_B = \begin{pmatrix} M \\ N \cdot Z \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} J \\ N \cdot E \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де M , N – перша та друга матриці інцидентії; Z – матриця повних власних опорів кожної вітки графа та опорів взаємодукції; J , E – вектори задаючих струмів та напруг у графі схеми.

Для швидкого розрахунку миттєвих схем застосуємо метод функцій струморозподілу, який полягає у визначенні значень функції струморозподілу $\varphi(x)$ в кожній точці з координатою x тягової мережі, кожне значення якої, в свою чергу, показує частку струму електровозу I_e , що споживається фідером контактної мережі I_ϕ тягової підстанції

$$\varphi_x = \frac{I_\phi}{I_e}. \quad (2)$$

Іншими словами, помноживши значення функції струморозподілу в координаті місцезнаходження електровозу на струм, що споживає електровоз, отримуємо струм фідера тягової підстанції. При знаходженні декількох електровозів на фідерній зоні можна застосувати метод суперпозиції, оскільки отримані результати будуть використані лише в якості першого наближення шуканої величини.

Тягові підстанції змінного струму до контактної мережі підключаються через нейтральні вставки, оскільки електровоз перед заїздом на нейтральну вставку вимикає силові кола і на самій вставці струму не споживає, то для спрощення подальших математичних викладок вважатимемо функції струморозподілу в точках приєднання нейтральних вставок неперервними.

З урахуванням прийнятого припущення очевидним є те, що функція струморозподілу i -го фідера тягової підстанції неперервна, кусочно-лінійна, визначена на фідерній зоні кожного фідера тягової підстанції та змінює значення тільки при зміні схеми живлення тягової мережі ділянки.

Отримання значень функцій струморозподілу для класичних схем живлення (консольна, двостороння, вузлова, повного паралельного з'єднання, петлева) значних труднощів не викликає. Схеми ділянок з указаними схемами

живлення та відповідними їм значеннями функцій струмозподілу наведені на рис. 1.

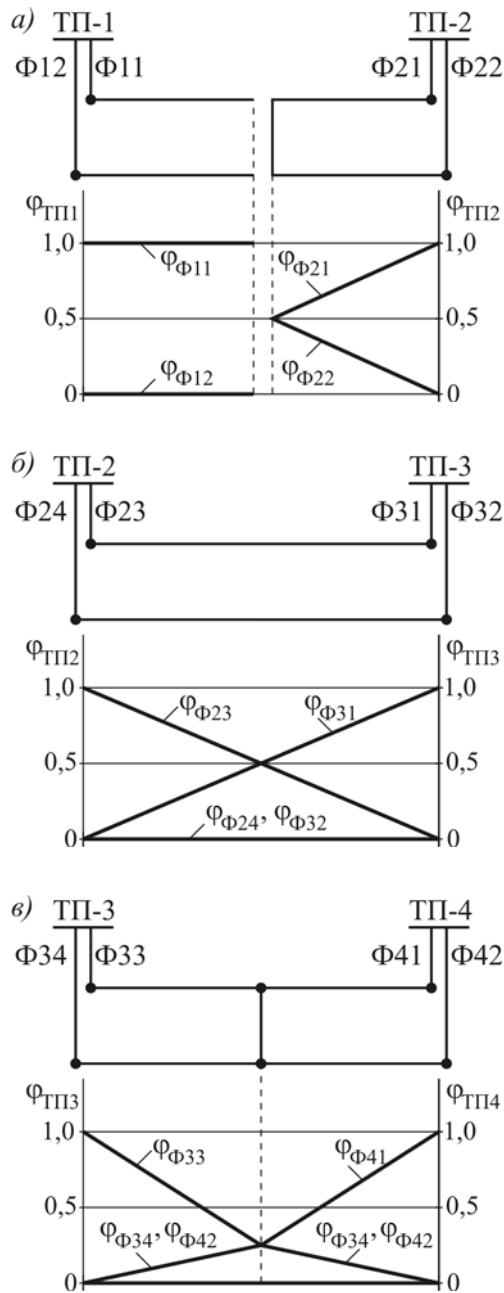


Рис. 1. Значення функцій струмозподілу: а) консольна та петлева схеми; б) двостороння з розділним живленням колій; в) вузлова

На рис. 1 індекси функцій струмозподілу вказані для руху електровозу в непарному напрямку. При русі електровозу в парному напрямку треба змінити індекси функцій струмозподілу на протилежні, тобто Φ_{11} на Φ_{12} , Φ_{13} на Φ_{14} , Φ_{24} на Φ_{23} і т.д.

На практиці можуть мати місце більш складні схеми живлення, зумовлені місцевими особливостями електрифікованих залізниць.

Для визначення функцій струмозподілу таких складних схем та можливого набору кла-

сичних пропонується застосування матричного методу. Розрахунки матриць виконуються один раз для визначення функцій струмозподілу фідерів тягових підстанцій. Далі за відомими значеннями відбувається подальше моделювання. Такий підхід дозволяє в цілому збільшити швидкість роботи моделі без втрат у точності розрахунків, оскільки обернення комбінованої матриці у виразі (1) виконується лише після безпосереднього складання схеми живлення в моделі та при можливих перемиканнях схеми в процесі моделювання.

Отримаємо вираз для розрахунку значень функцій струмозподілу в матричній формі. Заданою наступною схемою живлення та побудуємо її граф (рис. 2).

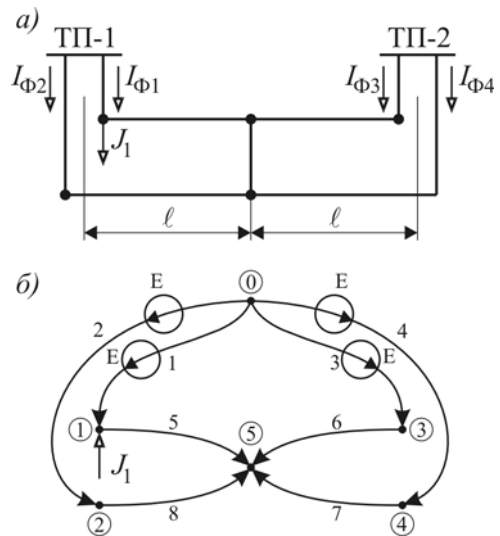


Рис. 2. Вузлова схема живлення тягової мережі (а) та її граф (б)

Згідно з визначенням (2), при знаходженні електровозу в 1-му вузлі для фідера $\Phi 1$ тягової підстанції ТП-1 матимемо

$$\Phi_{11} = \frac{I_{\Phi 1}}{J_1}. \quad (3)$$

В свою чергу згідно з (1), струм фідера $I_{\Phi 1}$ визначиться, як

$$I_{\Phi 1} = \left(\begin{bmatrix} M \\ N \cdot Z \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} J \\ N \cdot E \end{bmatrix} \right)_1. \quad (4)$$

При визначенні значень функцій струмозподілу будемо вважати величини напруги на шинах суміжних підстанцій рівними. Оскільки застосовується метод суперпозиції (тільки один електровоз), то другий множник виразу (4) запишеться у вигляді:

$$\begin{vmatrix} J \\ N \cdot E \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \\ J_5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Для першого множника у виразі (4) в [9] прийнято позначення B . Для схеми (рис. 2) матимемо

$$\begin{vmatrix} M \\ N \cdot Z \end{vmatrix}^{-1} = B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{18} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{28} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{81} & b_{82} & \dots & b_{88} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Підставляючи вирази (5), (6) у вираз (4), отримаємо $I_{\Phi 1} = b_{11} \cdot J_1$. Підставляючи значення $I_{\Phi 1}$ у вираз (3), отримаємо

$$\Phi_{11} = \frac{b_{11} \cdot J_1}{J_1} = b_{11}.$$

Розглядаючи знаходження електровозу послідовно в усіх вузлах графа схеми, для кожного фідеру тягової підстанції отримаємо матрицю значень функцій струмозподілу

$$\Phi = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Отже, шукана матриця значень функцій струмозподілу є підматрицею значень, що визначається виразом (1). Перепишемо вираз (6), використовуючи поняття «блокових матриць» [9]

$$B = \begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} M_{\alpha} & M_{\beta} \\ N_{\alpha} & N_{\beta} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Z_{\alpha\alpha} & Z_{\alpha\beta} \\ Z_{\beta\alpha} & Z_{\beta\beta} \end{vmatrix}^{-1} =$$

$$= \begin{vmatrix} M_{\alpha} & M_{\beta} \\ N_{\alpha}Z_{\alpha\alpha} + N_{\beta}Z_{\beta\alpha} & N_{\alpha}Z_{\alpha\beta} + N_{\beta}Z_{\beta\beta} \end{vmatrix}^{-1} =$$

$$= \begin{vmatrix} M_{\alpha} & M_{\beta} \\ N_{\alpha}Z_{\alpha\alpha} & N_{\beta}Z_{\beta\beta} \end{vmatrix}^{-1}.$$

При перетвореннях прийнято $Z_{\alpha\beta} = 0$ та $Z_{\beta\alpha} = 0$, оскільки явище взаємодукції між контактними підвісками суміжних колій, що кількісно враховується цими матрицями, не впливає на розподіл струмів у тяговій мережі.

Як відомо, добуток прямої та оберненої матриць дорівнює одиничній матриці, тому

$$\begin{vmatrix} M_{\alpha} & M_{\beta} \\ N_{\alpha}Z_{\alpha\alpha} & N_{\beta}Z_{\beta\beta} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

З рівності (8) впливає система 4 рівнянь, розв'язуючі які відносно B_{11} , отримаємо вираз для безпосереднього визначення матриці значень функцій струмозподілу

$$\Phi = B_{11} = \left[M_{\alpha} - M_{\beta} (N_{\beta}Z_{\beta\beta})^{-1} N_{\alpha}Z_{\alpha\alpha} \right]^{-1}. \quad (9)$$

Аналізуючи отриманий вираз, видно що операція знаходження оберненої матриці застосовується двічі. Крім збільшення часу розрахунку виразу (9) у порівнянні з розрахунком виразу (1), не завжди для конкретного графа в чисельному виді можна знайти обернену матрицю $\left[M_{\alpha} - M_{\beta} (N_{\beta}Z_{\beta\beta})^{-1} N_{\alpha}Z_{\alpha\alpha} \right]$ через її сингулярність. Тому в програмній реалізації моделі визначається перший множник виразу (1), а потім з отриманої матриці чисел вилучаються ті строки та стовбці, що відповідають хордам вихідного графа миттєвої схеми.

Слід також зауважити, що знайдена таким чином матриця чисел повністю відповідає значенням функцій струмозподілу при знаходженні електровозу в кожному з вузлів графа (рис. 2). Для розрахунку струмозподілу в схемі живлення, коли електровоз знаходиться між вузлами графа, значення функції струмозподілу можна знайти за допомогою лінійної інтерполяції, використовуючи знайдені значення функції у вузлах, між якими знаходиться електровоз. Оскільки функція струмозподілу лінійна між вузлами графа, то лінійна інтерполяція не внесе похибки в результат розрахунку.

Сучасні об'єктно-орієнтовані середовища програмування дозволяють використовувати технології програмування паралельних потоків. Застосування паралельних потоків надає інструмент декомпозиції для розв'язання складних задач, в нашому випадку задачі розрахунку

системи тягового електропостачання, моделювання якої описується групою паралельних процесів, що взаємодіють між собою.

В розробленій моделі елементи системи тягового електропостачання описані спеціальними об'єктами.

Так, система тягового електропостачання складається з наступних об'єктів:

- тягова підстанція;
- вузол з'єднання контактних підвісок суміжних колій;
- тягова мережа.

Віртуальний об'єкт «тягова підстанція» описується наступними властивостями та методами:

- параметри силових трансформаторів;
- схеми підключення до зовнішньої енергосистеми та тягової мережі;
- статистична модель районного навантаження;
- координати розміщення підстанції та підключення живлячих фідерів до контактної мережі;
- значення функцій струмозподілу для кожного фідера при знаходженні електровозу у вузлах в межах підстанційної зони;
- значення струмів фідерів, струмів плечей живлення, струмів у фазах трансформатора;
- функція визначення значень функцій струмозподілу;
- деякі спеціальні властивості та методи для візуалізації об'єкту.

Об'єкт, що відповідає за вузол з'єднання контактних підвісок суміжних колій має лише дві властивості – координату розміщення та індикатор «розірваного» вузла, що дає змогу розрахувати петлеві схеми живлення, які застосовують на практиці при наявності значних вирівнювальних струмів.

Об'єкт «тягова мережа» містить дані про типи проводів контактної мережі, тип рейкової мережі ділянки, геометричне розташування проводів у просторі та ін. Передбачена можливість врахування неоднорідності контактної чи рейкової мережі, яка враховується різними типами проводів та підключенням пристроїв системи автоблокування у рейкові кола.

Параметри системи тягового електропостачання суттєво впливають на роботу електрорухомого складу. Кількісно цей вплив може бути оцінено напругою на струмоприймачеві електровозу, від величини якої в свою чергу залежить режим ведення поїзду, час його руху, витрати електроенергії та інші показники. Суттєво також впливає спектральний склад напруги,

яким неможливо знехтувати при розрахунках якості електричної енергії.

Для вирішення цієї задачі основні характеристики електрорухомого складу можна визначити на основі кривої намагнічування тягового двигуна [10]. Для врахування спектрального складу напруги необхідно моделювати роботу схеми перетворювача електровозу. Це також дозволить визначати і зворотній вплив електрорухомого складу на систему тягового електропостачання.

В розглянутій моделі поїзд описується віртуальним об'єктом з певними параметрами. Одним з методів об'єкту є процедура-процес, що відповідає за рух поїзда та розрахунок характеристик електрорухомого складу під час руху. Поява кожного поїзда на розрахунковій ділянці в моделі ініціює наслідування описаного віртуального об'єкту та запуск окремого паралельного потоку таким чином, що кількість поїздів на розрахунковій зоні відповідає кількості паралельних потоків у моделі. Синхронізація потоків між собою виконується через глобальну змінну, що має розмірність часу.

Загалом можна окреслити наступний порядок виконання імітаційного моделювання:

1. Введення вихідних даних.
2. Розрахунок функцій струмозподілу для введеної схеми живлення.
3. Визначення режиму напруги в системі зовнішнього електропостачання для кожної тягової підстанції.
4. Визначення напруги на шинах 27,5 кВ кожної тягової підстанції, враховуючи параметри тягових трансформаторів та схеми їх підключення до живлячої та тягової мережі.
5. Ініціювання запуску паралельного потоку, що відповідає появі поїзду відповідно до графіку руху поїздів.
6. Рекурсивне визначення режиму напруги в тяговій мережі з урахуванням обраного методу розрахунку.
7. При нерівності змінної змодельованого часу змінній дослідного періоду перехід до п. 3.
8. Статистична обробка отриманих результатів.
9. Зміна необхідних параметрів у вихідних даних при оптимізаційних розрахунках та перехід до п. 2.
10. Завершення моделювання та виведення результатів розрахунку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий [Текст] / под ред. И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
2. Волынцев, В. В. Моделирование внешних характеристик тяговых подстанций переменного тока при квазиустановившемся режиме [Текст] / В. В. Волынцев // Исследование надежности и эффективности работы устройств электроснабжения электрических железных дорог: межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск, 2000.
3. Пашкова, Н. В. Расчет нестационарных волновых процессов на примере участка тяговой сети [Текст] / Н. В. Пашкова // Материалы региональной науч.-практ. конф. – Новосибирск: Сибирский гос. ун-т путей сообщения, 2003.
4. Коробков, Г. В. Моделирование участка тяговой сети для оценки влияния КУ на гармонический состав токов [Текст] / Г. В. Коробков // Вуз. тематич. сб. науч. тр. аспирантов (Омский гос. ун-т путей сообщения). – Омск: ОмГУПС, 2002.
5. Зажирко, В. Н. Способ расчета нестационарных волновых процессов в однородных линиях [Текст] // Материалы пятой межд. конф. – М.: Московский энергетический институт, 2003.
6. Косарев, А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока [Текст] / А. Б. Косарев. – М.: Интекст, 2004.
7. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения [Текст]. – К.: Госстандарт Украины, 1999.
8. Кузнецов, В. Г. Оценка потерь электроэнергии в тяговой сети магистральных железных дорог [Текст] / В. Г. Кузнецов, Р. С. Мышко, Д. А. Босый // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006.
9. Мельников, Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей [Текст] / Н. А. Мельников. – М.-Л.: Энергия, 1966.
10. Марквардт, Г. Г. Расчетная модель электрической железной дороги [Текст] / Г. Г. Марквардт, Б. А. Бесков // Тр. МИИТа. – 1956. – № 90/13.

Надійшла до редколегії 26.08.2008.

И. Л. ВАСИЛЬЕВ, М. Е. ПАВЛИЧЕНКО (УрГУПС, Екатеринбург, Российская Федерация)

СТОЙКА ОПОРЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ К ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ

В УрГУПСі розроблено проект стійки опори контактної мережі з підвищеною стійкістю до електрокорозії. Нові властивості досягаються шляхом захисту місця максимального механічного навантаження стійки від стікання струмів в цій зоні за допомогою діелектричного покриття частини арматури.

В УрГУПСе разработан проект стойки опоры контактной сети с повышенной стойкостью к электрокоррозии. Новые свойства достигаются путем защиты места максимальной механической нагрузки стойки от стекания токов в этой зоне с помощью диэлектрического покрытия части арматуры.

In UrGUPS a project of leg of the contact network support with a high resistance to electric corrosion is developed. New features are achieved through the protection of place of maximum mechanical load of the leg from flowing down currents in this zone by means of dielectric coating of some fixtures.

Коррозионные и, в особенности, электрокоррозионные повреждения железобетонных опор контактной сети являются одной из существенных проблем на электрифицированных участках железных дорог постоянного тока.

Традиционно считается, что ток, вызывающий коррозию арматуры стойки, протекает через цепь заземления опоры на рельс. Этот фактор действительно имеет место и довольно хорошо изучен. Но в этом случае должно наблюдаться одностороннее разрушение стойки. Такие разрушения встречаются довольно часто при откопках опор, но чаще всего представляя собой пояс.

Измерение сопротивления опор с целью определения состояния арматуры сопряжено с рядом трудностей. Сюда можно отнести и зависимость сопротивления опоры от условий окружающей среды, и разность показаний при использовании разных приборов. Кроме того, даже при наличии показаний, говорящих о наличии коррозии, неизвестным остается место нахождения повреждения, что затрудняет принятие решения о выбраковке опоры.

Применяемые нераздельные центрифугированные железобетонные стойки опор контактной сети обладают существенным недостатком, выражающемся в том, что участок максимальной механической нагрузки и участок максимальной электрокоррозии практически совпадают.

В зависимости от ряда факторов максимальной изгибающий момент расположен несколько ниже условного обреза фундамента. Практически в этом месте расположена зона максимальной коррозии.

Обследования, проведенные на ряде дорог, показывают, что обычно поврежденная зона находится на глубине 0,4...1 м и чаще всего представляет собой пояс шириной 0,5...1 м. Нормативный срок службы битумной гидроизоляции составляет 5...8 лет, фактически – 3...4 года [1]. Это подтверждается эксплуатационной практикой и результатами многочисленных откопок. Более того, использование покрытий часто затрудняет визуальную оценку коррозионного состояния, так как при этом трудно обнаружить трещины и следы продуктов коррозии.

Для повышения срока службы стойки опоры контактной сети на кафедре электроснабжения УрГУПС разработана новая конструкция стойки. Предлагается на стадии производства нанести на металлическую арматуру стойки диэлектрическое покрытие. Диэлектрически изолированный участок расположить в зоне фундамента стойки опоры в обе стороны от линии условного обреза фундамента на расстоянии не менее 1 м. Данное покрытие позволит разнести в разные стороны зону максимальной механической нагрузки и зону максимальной коррозии. При этом удлиняется путь коррозионных токов, что должно снизить их величину и уменьшить вероятность возникновения коррозии.

Эффективность предлагаемой защиты состоит в том, что при эксплуатации в условиях действия блуждающих или иных токов, оказывающих коррозионное воздействие на арматуру стойки, изолированный участок арматуры не позволяет токам коррозии стекать на участках ближе 1 метра к линии условного обреза

фундамента. Конкретная величина покрытия рассчитывается, исходя из свойств грунта, вида применяемой арматуры, условий армирования, марки бетона, схемы нагружения, условий эксплуатации и т.д.

В стойках с напряженной струновой и не напряженной арматурой, при проведении соответствующих исследований, можно предположить снижение числа ненапряженных прутков вплоть до полного их исключения.

На кафедре электроснабжения УрГУПС были проведены макетные эксперименты. Для эксперимента были изготовлены модели железобетонных стоек с различной величиной диэлектрического покрытия. В результате эксперимента было подтверждено принципиальное наличие эффекта.

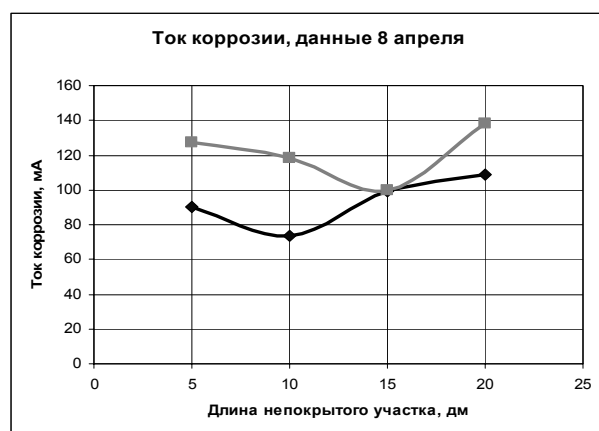


Рис. 1. Замеры токов утечки на образцах

При испытании опытного и контрольного образца было отмечено, что коррозионные повреждения наблюдались ниже зоны диэлектрического покрытия. Как показано на рис. 1, при различной величине покрытия наблюдалось различие в величинах токов, достигающее 40 %.

Был сделан вывод о наличии оптимальной величины зоны покрытия. Если покрыть слишком большой участок арматуры, ток разрушает защитное покрытие, если же величина покрытия слишком мала, теряется эффект. Зона выноса металла из тела макета стойки находилась ниже участка диэлектрического покрытия.

При испытаниях макетных образцов проводился эксперимент по смене полярности напряжения. Результаты на рис.2.

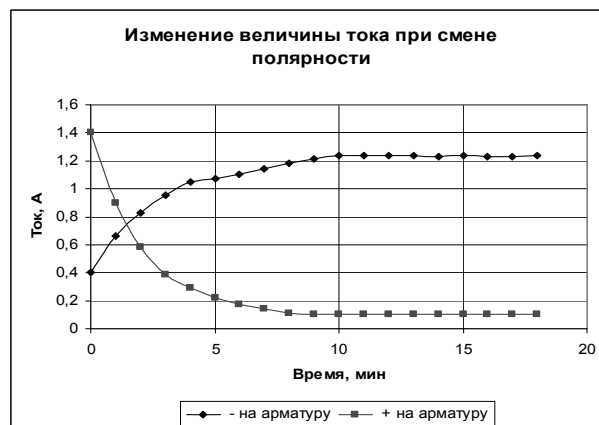


Рис.2. Зависимость силы тока через образец от времени при смене полярности

Данное техническое решение позволяет исключить хрупкий излом опоры, исключить откопку, повысит срок службы, а в случае пробоя изолятора снизит шаговое напряжение вблизи опоры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайнштейн, А. Л. Коррозионные повреждения опор контактной сети [Текст] / А. Л. Вайнштейн, А. В. Павлов. – М.: Транспорт, 1988. – 111 с.

Поступила в редколлегию 22.04.2008.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗМІНИ СТРУМУ У КОЛАХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

У статті розглянуті питання збільшення швидкодії апаратів захисту силових кіл електрорухомого складу, представлена математична модель двигуна послідовного збудження та наведені результати моделювання перехідних процесів у режимі пуску при різних значеннях напруги в контактній мережі.

В статье рассмотрены вопросы увеличения скорости срабатывания аппаратов защиты силовых цепей электроподвижного состава, представлена математическая модель двигателя последовательного возбуждения и приведены результаты моделирования переходных процессов в режиме пуска при разных значениях напряжения в контактной сети.

In the article the issues of increase in operation rate of devices of power circuits' protection for the electric rolling stock are considered, the mathematical model of an engine of consecutive excitation is presented and the results of modeling of transition processes in a start-up mode at different voltage values in the contact mains are given.

ВСТУП

З точки зору надійності роботи захисних апаратів силових кіл електрорухомого складу важливе значення має швидкодія цих апаратів. Електромагнітні (електромеханічні) пристрої, які поки що значною мірою застосовуються у схемах електровозів та електропоїздів, забезпечують час відключення кола порядку декілька сотих секунди. Із застосуванням сучасних мікропроцесорних пристроїв цей час можна значно скоротити і тим самим запобігти значною мірою розмірам пошкоджень, наприклад, при коротких замиканнях (КЗ) у колах.

Для вирішення вказаної задачі потрібно знати швидкість зміни струму у колі за певний проміжок часу при різних режимах (пуск, коротке замикання, перевантаження) з тим, щоб захисна апаратура відрізняла ці режими і апарати захисту від КЗ спрацьовували до того, як струм короткого замикання досягне максимального значення.

МЕТА РОБОТИ

Перевірка адекватності запропонованої математичної моделі та дослідження з метою розробки рекомендацій зі збільшення швидкодії захисної апаратури силових кіл електрорухомого складу залізниць у раціональних межах.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою визначення швидкості наростання струму $\frac{di}{dt}$ у колах тягових двигунів електровозів постійного струму від моменту подачі напруги до моменту зрушення розроблена математична модель, що описує роботу електропривода електровоза постійного струму у вказаному режимі.

Математична модель розроблена у відповідності з рис. 1. Мається на увазі двигун послідовного збудження.

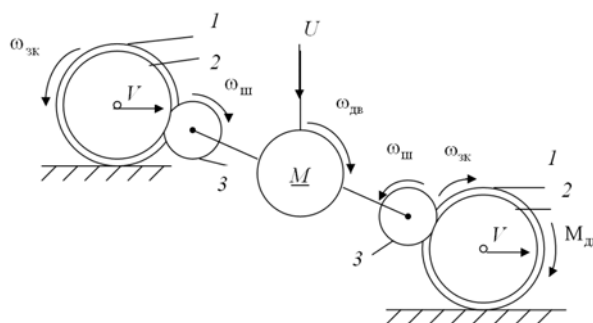


Рис. 1. Електромеханічна система приводу однієї колісної пари:

1 – колісна пара, 2 – зубчате колесо редуктора, 3 – шестерня редуктора, М – двигун постійного струму послідовного збудження, U – напруга, що прикладена до якоря двигуна

Загальний вигляд системи диференціальних рівнянь [1, 2]:

$$\begin{cases} L_{\text{я}} \frac{di}{dt} = U - c_{\text{е}} \Phi \cdot \omega_{\text{дв}} - i \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{пуск}}); \\ J_{\text{прив}} \frac{d\omega}{dt} = c_{\text{м}} \Phi \cdot i - M_{\text{с}}; \\ c_{\text{е}} \Phi = f(I_3); \\ c_{\text{м}} \Phi = f(I_3), \end{cases} \quad (1)$$

де $L_{\text{я}}$ – сумарна індуктивність якірного кола двигуна без обмотки збудження;

$R_{\text{я}}$ – сумарний активний опір кола двигуна;

$R_{\text{пуск}}$ – опір пускових реостатів;

i – струм у колі якоря;

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

$c_{\text{м}}, c_{\text{е}}$ – постійні двигуна;

Φ – основний магнітний потік;

$M_{\text{с}}$ – статичний момент опору на валу двигуна;

$J_{\text{прив}}$ – приведений до вала двигуна момент інерції з урахуванням ваги поїзда, що приходить на один двигун.

Момент інерції $J_{\text{прив}}$ вважаємо постійним та приведеним до вала одного тягового двигуна. В цьому випадку момент інерції при передатному відношенні $i_{\text{ред}}$ і заданій масі поїзда визначається за розрахунковою схемою (рис. 1) і може бути записаний як [3]:

$$J_{\text{прив}} = J_{\text{дв}} + 2 \cdot J_{\text{ш}} + \frac{2 \cdot (J_{\text{зк}} + J_{\text{кп}})}{i_{\text{ред}}^2} + \frac{(P + Q) \cdot \rho^2}{n}, \quad (2)$$

де $J_{\text{дв}}$ – момент інерції якоря тягового двигуна;

$J_{\text{ш}}$ – момент інерції шестерні редуктора;

$J_{\text{зк}}$ – момент інерції зубчатого колеса редуктора;

$J_{\text{кп}}$ – момент інерції колісної пари;

P – маса електровоза;

Q – маса поїзда;

n – кількість осей (тягових двигунів).

Радіус приведення визначається за формулою:

$$\rho = \frac{V}{\omega_{\text{дв}}}. \quad (3)$$

Система диференціальних рівнянь (1) є нелінійною системою, оскільки містить вираз, що описує криву намагнічування $c\Phi = f(I_3)$. Крива намагнічування відноситься до неаналітичних нелінійностей. Для її використання потріб-

но провести лінеаризацію. Найбільш розповсюдженим методом лінеаризації нелінійностей є апроксимація: за допомогою відомих чисельних методів підбирається аналітичний вираз для нелінійності.

Відомо, що нелінійна залежність $c\Phi = f(I_3)$ може бути з прийнятною точністю апроксимована прямолінійними відрізками і записана наступною системою рівнянь [4]:

$$c\Phi(i) = \begin{cases} c\Phi_{01} + k_{\Phi 1} \cdot i; \\ c\Phi_{02} + k_{\Phi 2} \cdot i; \\ \vdots \\ c\Phi_{0i} + k_{\Phi i} \cdot i, \end{cases} \quad (4)$$

де $k_{\Phi i} = \frac{\lambda_i \Phi_i}{\Phi_{i-1} \lambda_i}$ – коефіцієнт, що залежить від форми кривої на i -й ділянці апроксимації; $\lambda_i \Phi_i$, $\Phi_{i-1} \lambda_i$ – відрізки на рис. 2 та 3.

У нашому випадку розглядаємо криву намагнічування двигуна типу ЕД-141У електровозу ДЕ1 [5]. Апроксимовані $c_{\text{е}}\Phi = f(I_3)$ та $c_{\text{м}}\Phi = f(I_3)$ показані на рис. 2 та 3.

Маючи апроксимовані $c_{\text{е}}\Phi = f(I_3)$ та $c_{\text{м}}\Phi = f(I_3)$, використаємо математичну модель (1) для визначення $i = f(t)$ від моменту подачі напруги на якір двигуна до моменту зрушення.

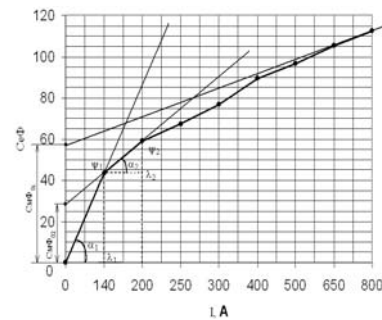


Рис. 2. Апроксимація кривої намагнічування $c_{\text{е}}\Phi = f(I_3)$

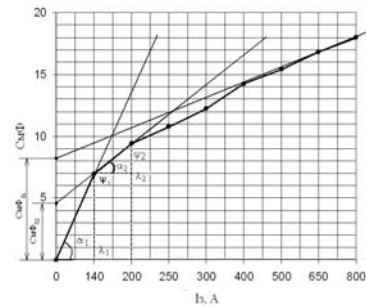


Рис. 3. Апроксимація кривої намагнічування $c_{\text{м}}\Phi = f(I_3)$

При розрахунках приймаємо, що поїзд рухається по прямій на горизонтальній ділянці, кількість осей (тягових двигунів) дорівнює восьми, маса електровозу $P = 188 \cdot 10^3$ кг, маса поїзду $Q = 3 \cdot 10^6$ кг.

На рис. 4 наведено графік перехідного процесу при пуску тягових двигунів до моменту зрушення при напрузі в мережі – 3 кВ.

Адекватність результату моделювання за запропонованою моделлю перевірена згідно відповідної документації для електровозу ДЕ1 [5]. На пусковому реостаті з моменту пуску до моменту зрушення виводиться 10 ступенів. Швидкість при цьому дорівнює нулю. При виведенні першої ступені пусковий струм дорівнює 187 А, другої – 242 А, третьої – 293 А, а при виведенні останньої десятої ступені струм пуску дорівнює 731 А. Після десятої ступені починає зростати швидкість. З рис. 4 видно, що струм при виведенні відповідних ступенів майже точно дорівнює значенням, вказаним вище. Це дозволяє вважати, що запропонована модель тягових двигунів постійного струму послідовного збудження, з урахуванням всіх допущень, задовільно описує процес пуску до моменту зрушення.

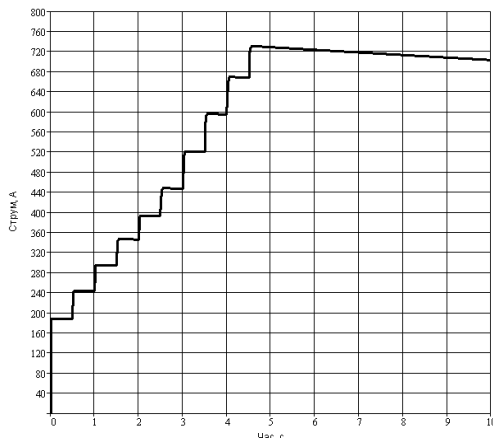


Рис. 4. Залежність $i = f(t)$ при напрузі в мережі 3кВ

У випадку збільшення напруги в контактній мережі до 4000 В (рис. 5) пусковий струм зростає приблизно до 970 А на останній ступені виведення пускового реостату за той же проміжок часу, що і при нормальному пуску.

Маючи залежності $i = f(t)$, можемо визначити швидкість наростання струму у колі за певний проміжок часу. Цей проміжок часу приймаємо 0,001 с. – що на порядок менше, ніж у електромагнітних проміжних реле, які використовуються у теперішній час в схемах захисту, наприклад, див. рис. 6.

У схемі рис. 6 захист від струмів КЗ кіл опалення пасажирських вагонів, які живляться від спеціальної обмотки тягового трансформатора електровозів типу ЧС8, здійснюється за допомогою головного вимикача електровозу, номінальний час спрацювання якого 0,04 с. Сигнал на розмикання головного вимикача електровоза подається через два проміжних якірних реле, номінальний час спрацювання кожного з яких 0,02 с.

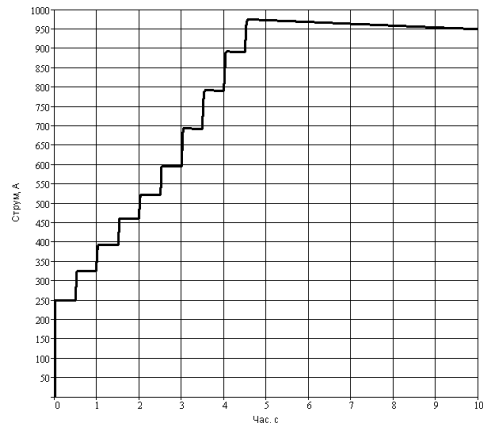


Рис. 5. Залежність $i = f(t)$ при збільшенні напруги в мережі до 4кВ

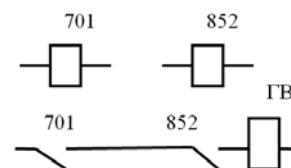


Рис. 6. Котушки та контакти проміжних реле, що подають сигнал на відключення ГВ: 701, 852 – проміжні реле, ГВ – головний вимикач

Отримання сигналу на спрацювання реле 701 (702) та 852 показано на рис. 7.

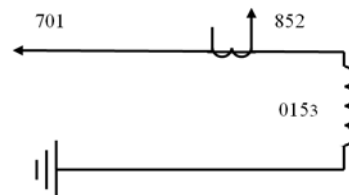


Рис. 7. Схема живлення опалення пасажирських вагонів від електровозу ЧС8

015₃ – вторинна обмотка тягового трансформатора, від якої живляться печі опалення пасажирських вагонів. При перевантаженнях та КЗ у колах опалення сигнал поступає на котушки проміжних реле (рис. 6), які розривають свої контакти у колі котушки головного вимикача, головний вимикач розмикає коло живлення електровозу.

Таким чином, сумарний час ($t_{\text{сум}}$) від моменту виникнення КЗ до розмикання кола головним вимикачем складає:

$$t_{\text{сум}} = (0.04 + 2 \cdot 0.02) = 0.08 \text{ с.} \quad (5)$$

Швидкість $\frac{di}{dt}$ визначається наступним чином. Першу ступень зміни струму збільшимо за масштабом (рис. 8), відкладаємо від нуля по шкалі часу 0,001 с., піднімаємо перпендикуляр до кривої струму та отримаємо величину струму. В табл. 1 заносимо значення $\frac{di}{dt}$. У нашому випадку вибрана $i = f(t)$ для першої ступені, для якої $\frac{di}{dt}$ має найбільше значення.

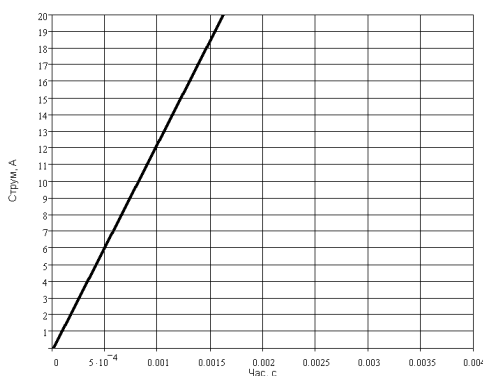


Рис. 8. Перша ступень зміни струму при напрузі в контактній мережі 3 кВ

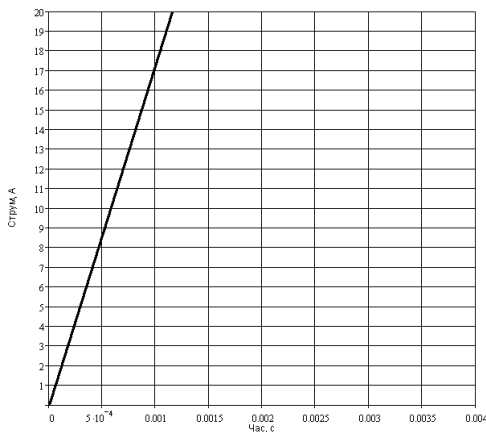


Рис. 9. Перша ступень зміни струму при напрузі в контактній мережі 4 кВ

Таким чином, при розробці швидкодіючого апарату захисту від КЗ на сучасній елементній базі потрібно забезпечити, щоб цей апарат спрацював би при $\frac{di}{dt} > 17000 \text{ А/с}$. Наскільки $\frac{di}{dt}$ повинно бути більше 17000 А/с , потрібно

встановити в результаті відповідних досліджень.

Таблиця 1

Ступені пускового реостата	$\frac{di}{dt}$	
	$U_{\text{мер}} = 3000 \text{ В}$	$U_{\text{мер}} = 4000 \text{ В}$
1	$12/0,001 = 12000$	$17/0,001 = 17000$
2	3300	5400
3	3000	3100
4	3200	4300
5	3000	3500
6	3000	4000
7	5000	6000
8	3200	4500
9	3300	2300
10	3800	4500

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження показали, що запропонована математична модель адекватно описує процеси, які відбуваються при перехідних режимах у силовому колі двигунів електровоза і може бути використана для дослідження будь-яких перехідних режимів у цьому колі.

При розробці захисних апаратів електровозу ДЕ1, які сприяли б тому, що під час КЗ коло буде розірване раніше, ніж струм короткого замикання досягне максимуму, у першому наближенні можна прийняти $\frac{di}{dt} = 17000 \text{ А/с}$.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Чорний, О. П. Моделирование электромеханических систем [Текст] / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін. – Кременчук, 2001. – 410 с.
2. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов. – М.: Транспорт, 1991. – 343 с.
3. Величко, Т. В. Теория электропривода, часть 1. Механика и характеристики двигателей в электроприводе [Текст]: учеб. пособие / Т. В. Величко, Д. И. Родькин. – Кременчук, 1999. – 237 с.
4. Тулупов, В. Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава [Текст] / В. Д. Тулупов. – М.: Транспорт, 1976. – 368 с.
5. Электровоз магистральный ДЭ1. Техническое описание. ЗТП.000.020-03 ТО [Текст]. – 1999. – 188 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2008.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТАРЕЛЬЧАТЫХ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Дано обґрунтування ефективності відбраковування дефектних тарільчастих фарфорових ізоляторів за критерієм $\text{tg}\delta \geq 0,08$. Показана можливість оцінки стану ізоляції і залишкового ресурсу ізоляторів на діючій залізниці шляхом вибіркового виміру $\text{tg}\delta$.

Дано обоснование эффективности отбраковки дефектных тарельчатых изоляторов из фарфора по критерию $\text{tg}\delta \geq 0,08$. Показана возможность оценки состояния изоляции и остаточного ресурса изоляторов на линии путем выборочного измерения $\text{tg}\delta$.

The efficiency of sorting of defective dish-shaped porcelain insulators on the criterion of $\text{tg}\delta \geq 0,08$ is justified. It is demonstrated the possibility of estimation of the insulation condition and remaining resource of the insulators on a railway line under operation by means of selective measurement of $\text{tg}\delta$.

В контактных сетях железных дорог особую проблему представляют процессы накопления дефектов в фарфоровых изоляторах, когда уровень отказов изоляторов достигает границы, выше которой экономически целесообразнее произвести сплошную замену, чем вести профилактические и ремонтные работы по замене отказавших изоляторов.

Состояние изоляторов оценивается по их среднегодовому уровню отказов [1]:

$$z = \frac{n}{N \times T} \text{ (1/год),}$$

где n – количество поврежденных изоляторов;

N – общее количество осмотренных изоляторов;

T – промежуток времени осмотра.

Согласно обобщенным статистическим данным о работе фарфоровых тарельчатых изоляторов в контактных сетях железных дорог стран СНГ, среднегодовой уровень отказов существенно превышает нормированные значения: $z \leq 1 \times 10^{-3}$ 1/год. Вместе с тем реальная повреждаемость контактной сети по причине выхода из строя изоляторов на порядок меньше, чем прогнозируемые значения (табл. 1) [2–4].

Это, прежде всего, связано с тем, что изоляция в контактных сетях обеспечивается заведомо большим запасом по электрической прочности установкой дополнительных изоляторов в гирляндах, а также систематической заменой дефектных изоляторов.

Таблица 1

Показатели повреждаемости контактной сети

Показатели надежности изоляторов	Контактная сеть		Высоковольтная линия на 35кВ
	Постоянный ток, КС 3,3	Переменный ток, КС 27,5	
Количество изоляторов, соответствующих $z \leq 1 \times 10^{-3}$ 1/год, %	29,4	0,0	88,1
Уровень отказов сети, 1/год	$6,8 \times 10^{-3}$	$9,6 \times 10^{-3}$	$0,9 \times 10^{-3}$

Действительно, анализ демонтированных изоляторов и лабораторные исследования показывают, что основным фактором ухудшения фарфоровых изоляторов является механическое воздействие, которому они подвергаются в процессе эксплуатации. При этом конечным

исходом потери работоспособности этих изоляторов является потеря электрической прочности, а не механическое разрушение. В то же время «зануление» изоляторов практически не оказывает влияния на их механическую прочность, что подтверждается многолетней прак-

тикой проведения электромеханических испытаний. Таким образом, надежность работы сети определяется практически внутренней электрической прочностью изоляторов, а не их механической прочностью, и отказы сети обуславливаются электрическим отказом всех последовательно присоединенных изоляторов в гирлянде.

Следовательно, с учетом независимости событий-отказов отдельно взятых изоляторов вероятность безотказной работы сети можно оценивать на основе данных интенсивности отказов изоляторов как:

$$F_r = 1 - z^m,$$

или для удельной интенсивности отказа гирлянды-сети, Z_r :

$$1 - F_r = Z_r = z^m, \quad (1)$$

где m – число последовательно соединенных изоляторов в гирлянде.

Отбраковка изоляторов по величине $\text{tg}\delta$

В соответствии с «Правилами технического обслуживания и ремонта контактной сети электрифицированных железных дорог» ЦЭ-0023, в процессе эксплуатации изоляторы подвергаются сплошному контролю с периодичностью в сетях переменного тока не реже 1-го раза в 3 года, в сетях постоянного тока не реже 1-го

раза в 6 лет. Контроль заключается во внешнем осмотре изоляторов и выявлении нулевых изоляторов с помощью специальной штанги. Однако применением измерительной штанги не удастся обнаружить изоляторы с ослабленной электрической прочностью, для которых внутреннее сопротивление еще превышает десятки МОм, но которые могут пробиться при перенапряжениях.

Одним из параметров, часто используемых в высоковольтной технике при контроле состояния изоляции неразрушающим методом, является тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$. Установлено, что для фарфоровых изоляторов, удовлетворяющих техническим требованиям, значения $\text{tg}\delta$ (измерения проводились электронным мостом на частоте 1000 Гц) с достоверностью 0,90 лежат в диапазоне 0,015...0,030. Под действием долговременных внешних нагрузок исходное распределение $\text{tg}\delta$ смещается в сторону больших значений, что свидетельствует о появлении электрически ослабленных изоляторов [3].

На рис.1 (кривая 1) показан уровень дефектных изоляторов в зависимости от величины их $\text{tg}\delta$, полученный проведением измерений и испытаний около 200 шт. демонтированных изоляторов.

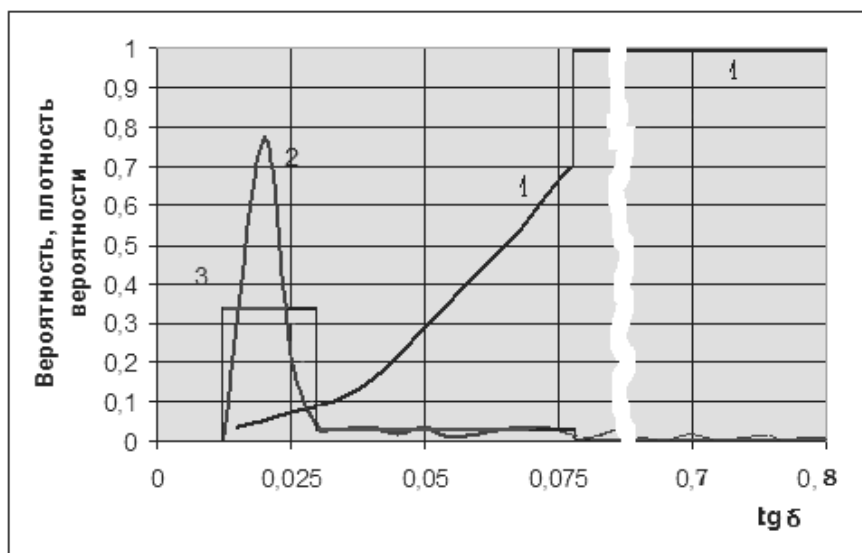


Рис. 1. Уровень дефектных изоляторов и распределение от $\text{tg}\delta$:

1 – уровень отбраковки, $F_{\text{отб}} \times 0,01$; 2 и 3 – распределение $f_{\text{из}}(\text{tg}\delta) \times 0,01$ фактическое и аппроксимированное, соответственно

Как следует из этого рисунка, не менее 80 % изоляторов со значениями $\text{tg}\delta \geq 0,08$ были дефектными, пробивались при контрольных испытаниях воздействием высокого напряжения в

условиях искропотока. Сопоставительные испытания изоляторов с различными методами их контроля показали, что эффективность дефектировки изоляторов по критерию $\text{tg}\delta \geq 0,08$ в

несколько раз выше, чем при методике отбраковки с помощью мегомметра (штангой), и на 15...20 % выше, чем при испытаниях повышенным напряжением переменной частоты 50 кВ.

При неразрушающем способе диагностики всегда существует риск отбраковки кондиционных изделий, α , и риск недоотбраковки дефектных изоляторов, β .

Предлагаемая критическая величина $\text{tg}\delta \geq 0,08$ сама по себе является заведомо высокой по сравнению с диэлектрическими потерями для кондиционных изоляторов, что дает основание оставшиеся непробитыми при контрольных испытаниях отнести в разряд потенциально дефектных изоляторов. Поэтому принимаем, что:

$$\alpha(\text{tg}\delta \geq 0,08) \approx 0. \quad (2)$$

Если известно распределение обследуемых изоляторов по $\text{tg}\delta$, то вероятность того, что на линиях останутся дефектные изоляторы при отбраковке по критерию, в общем случае, $\text{tg}\delta \geq w$ можно вычислить интегрированием произведения этого распределения на вероятность наличия дефектных изоляторов с заданной величиной $\text{tg}\delta$:

$$\beta(\text{tg}\delta) = \int_0^w f_{\text{из}}(\text{tg}\delta) F_{\text{отб}}(\text{tg}\delta) d\text{tg}\delta, \quad (3)$$

где $f_{\text{из}}(\text{tg}\delta)$ – плотность распределения изоляторов по $\text{tg}\delta$, характерный пример приведен на рис. 1, кривая 2;

$F_{\text{отб}}(\text{tg}\delta)$ – вероятность дефектных изоляторов по $\text{tg}\delta$ (рис. 1, кривая 1).

Для приближенной оценки (3) аппроксимируем распределение $f_{\text{из}}$ ступенчатыми функциями в интервалах $\text{tg}\delta$: от 0,0125 до 0,030 – номинальных значений; от 0,30 до 0,08 – высоких значений; 0,08 и более – критических величин. Функцию вероятности отбраковки $F_{\text{отб}}$ заменим линейными функциями для каждого выбранного интервала $\text{tg}\delta$. При этом с учетом допущения (2) принимаем $F_{\text{отб}} = 1$ для $\text{tg}\delta \geq 0,08$. Упрощенный расчет (3) приводит, что в случае отбраковки изоляторов по критерию $\text{tg}\delta \geq 0,08$ риск недоотбраковки дефектных изоляторов для рассматриваемого примера составит:

$$\begin{aligned} \beta(0 \div 0,080) &= \beta(0,0125 \div 0,030) + \\ &+ \beta(0,030 \div 0,080) \approx 0,022 + 0,046 = 0,068. \end{aligned}$$

В то же время объем отбракованных изоляторов из данной выборки, равный β ($\text{tg}\delta \geq 0,080$), достигает 0,27, что значительно превышает долю риска недоотбраковки изоляторов.

Обоснованность диагностики фарфоровых изоляторов посредством измерения $\text{tg}\delta$ иллюстрирует корреляция между реальным уровнем дефектных изоляторов $V_{\text{отб}}$ по электрической прочности и количеством изоляторов с $\text{tg}\delta \geq 0,08$, V_{tg} . На рис. 2 приведены результаты обследований изоляторов, демонтированных на 10 различных дорогах с разными сроками эксплуатации. Объем рассмотренных изоляторов составил от 20 до 150 шт. для каждой зачетной точки на графике рис. 2.

Аппроксимирующая корреляцию рис. 2 функция имеет следующий вид:

$$V_{\text{отб}} = 0,01 \times [-0,502 + 23,6V_{\text{tg}} - 19V_{\text{tg}}^2], \quad (4)$$

где $V_{\text{отб}}$ и V_{tg} в относительных единицах.

Для практики интерес представляет состояние изоляции гирлянд изоляторов в целом, поэтому с учетом (1) для оценки соотношения между отказом гирлянды изоляторов и уровнем отбраковки изоляторов выражение (4) преобразуем к удобному виду:

$$V_{\text{tg}} = 0,621 \left(1 - \sqrt{0,9315 - 1,365 \times 2m\sqrt{Z_r}} \right). \quad (5)$$

Например, если в качестве уровня отказа гирлянды изоляторов принимаем уровень отказа самой линии, то для приведенных в табл. 1 значений получаем следующие допустимые значения отбраковки по критерию $\text{tg}\delta \geq 0,08$:

$$V_{\text{tg}} \leq 0,18 \text{ для ВЛ35 при } m = 3;$$

$$V_{\text{tg}} \leq 0,28 \text{ для КС27,5 при } m = 3;$$

$$V_{\text{tg}} \leq 0,42 \text{ для КС3,3 при } m = 2.$$

Таким образом, в реальных сетях с надежностью, близкой к данным в табл. 1, уровни дефектных изоляторов оказались выше на порядок и более, чем регламентированные в нормативных документах величины, что, в общем, не противоречит имеющейся статистике отказов изоляторов.

Оценка надежности изоляторов

Координация прочности изоляторов с нагрузкой на линии

Как отмечалось выше, в основной массе динамика отказов высоковольтных линейных фарфоровых изоляторов является функцией

длительности эксплуатации и подчиняется известным статистическим законам. При этом зависимости логарифма срока безопасной работы изоляторов от величины механической нагрузки в первом приближении можно аппрок-

симировать прямыми линиями (рис. 3) [2, 4]. Данное обстоятельство позволяет для оценки надежности изоляторов использовать методику, изложенную в МЭК 1109 применительно к стержневым полимерным изоляторам [5].

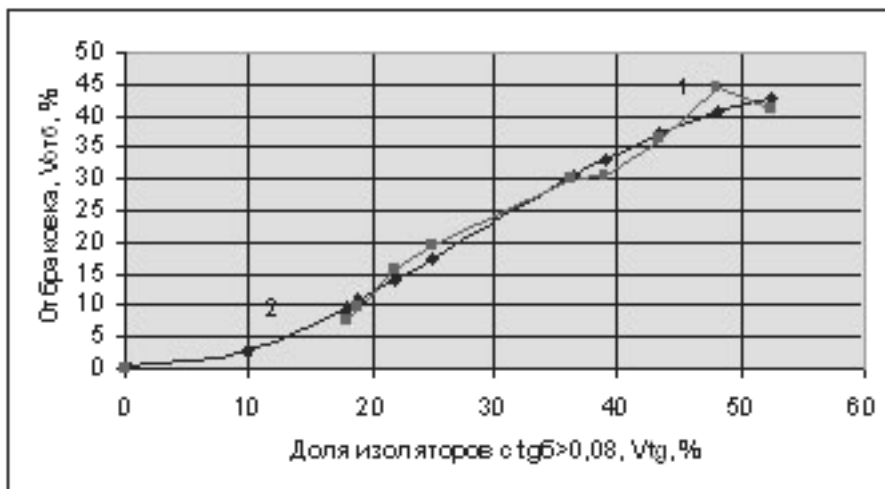


Рис. 2. Соотношение между уровнем отбраковки изоляторов ПФ70В и объема изоляторов с критической величиной $\text{tg}\delta$:
1 – данные опыта эксплуатации; 2 – аппроксимирующая функция

Для обеспечения надежной работы сети осуществляется координация между ожидаемой нагрузкой и прочностной характеристикой используемых изоляторов. Очевидно, что прямая зависимости прочности изолятора от времени их эксплуатации, $P_{\text{из}}/\lg T$ должна располагаться выше аналогичной зависимости для нагрузки, $P_{\text{наг}}/\lg T$, в координатном поле «механическая сила – время».

На рис. 4 приведены прямая 1 – характеристика линии, вытекающая из расчета 30-летнего гарантируемого срока безопасной эксплуатации при номинальной нагрузке, не превышающей 33 % кратковременной нагрузки на линии и прямая 2 – условная характеристика изоляторов.

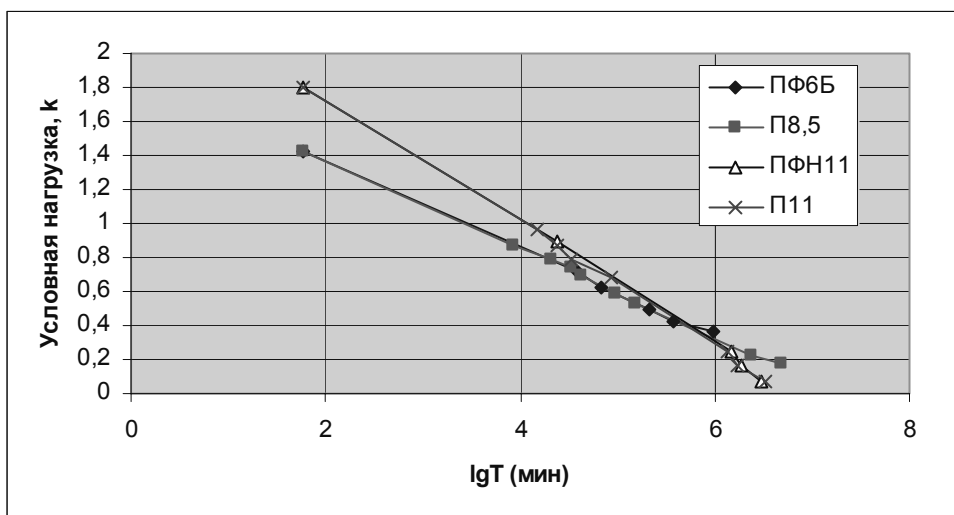


Рис. 3. Результаты стендовых испытаний и опыта эксплуатации изоляторов

Для вновь строящейся линии контроль соответствия условию координации используемых изоляторов выполняется проведением ус-

коренных электромеханических испытаний в течение рекомендуемой МЭК продолжительностью, 96 час ($\lg T = 3,76$) и при нагрузке:

$$P_{\text{наг}}\{3,76\} = P_{\text{наг}}\{0\}[1 - 3,76 \times 0,107] = 0,6P_{\text{наг}}\{0\}, \quad (6)$$

где 0,107 – наклон линии нагрузка/время (см. рис. 4, линия 1).

Испытательная нагрузка $P_{\text{исп}}\{3,76\}$ корректируется в зависимости от количества испы-

туемых изоляторов и предполагаемой достоверностью F_d получаемых результатов:

$$P_{\text{исп}}\{3,76\} = 0,6P_{\text{наг}}\{0\}[1 - \nu \times 0,107], \quad (7)$$

здесь ν – коэффициент, определяемый количеством испытуемых изоляторов и уровнем достоверности результатов.

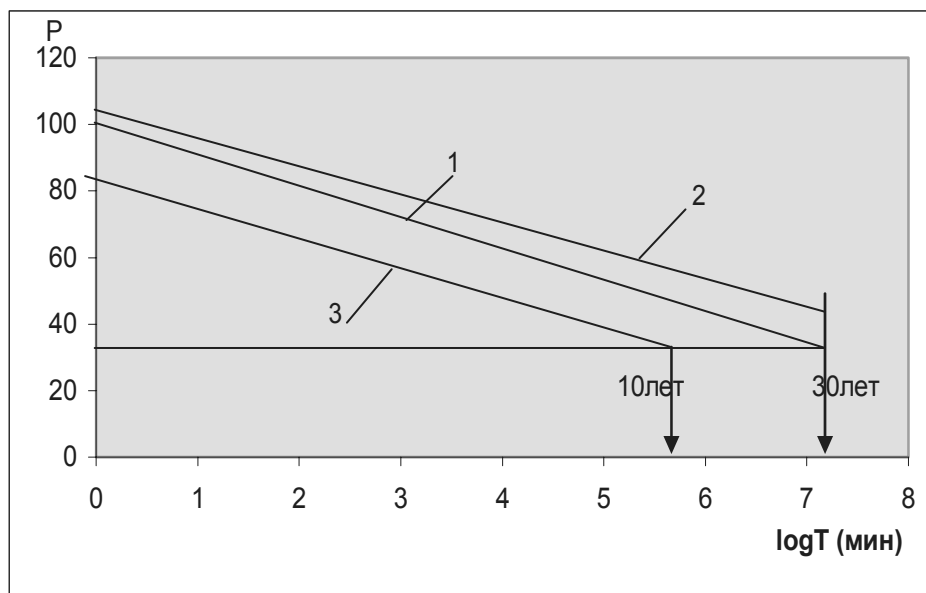


Рис.4. Диаграмма оценки остаточного срока безопасной эксплуатации изоляторов на линии

Предположим, что $F_d = 0,9$ и ускоренному испытанию подвергаются 10 шт. изоляторов, то $\nu = 1,24$. Соответственно, $P_{\text{исп}}\{3,76\} = 0,52P_{\text{наг}}\{0\}$. Тогда, если все изоляторы выдерживают испытания, то принимается, что средняя 96-часовая разрушающая сила с вероятностью 0,9 не меньше $0,52P_{\text{наг}}\{0\}$. При этом коэффициент вариации прочности изоляторов не превышает 0,107. Изоляторы принимаются как соответствующие требуемым характеристикам линии.

В случае отрицательных результатов испытаний принимается решение о невозможности применения данных изоляторов для указанных условий линии.

Оценка состояния изоляторов на действующих линиях и остаточного срока службы

Априори принимается условие однородности исследуемых изоляторов, неизменности механизма снижения прочности. Кроме того, полагаем, что прочностная характеристика исходных изоляторов $P_{\text{из}}/\lg T$ известна и электро-механическая прочность изоляторов, оставшихся после отбраковки, остается на уровне исходных изоляторов.

Производится демонтаж путем случайного отбора изоляторов в количестве не менее 20 шт.

Производится отбраковка изоляторов по критерию $\text{tg} \delta \geq 0,08$ и устанавливается по соотношению (4) уровень дефектных изоляторов $V_{\text{отб}}$ на линии.

Подставляя это значение в (5), можно определить уровень отказа гирлянды с различным числом последовательно соединенных изоляторов.

Для оценки остаточного ресурса изоляторов устанавливаем гарантированную прочность всей совокупности изоляторов в рассматриваемой линии. Для чего принимается, что средняя кратковременная прочность оставшихся после отбраковки изоляторов равна средней кратковременной прочности исходных изоляторов, $P_{\text{ср}}\{0\}$. Поскольку прочность дефектных изоляторов можно принять равной нулю, то средняя прочность всех обследуемых изоляторов, $P_{\text{ср}\cdot\Sigma}$, окажется меньше на величину $1 - V_{\text{отб}}$, то есть:

$$P_{\text{ср}\cdot\Sigma} = P_{\text{ср}}\{0\}[1 - V_{\text{отб}}]. \quad (7)$$

Гарантируемая с общепринятой вероятностью 0,9 кратковременная прочность обследуемых изоляторов вычисляется по следующему выражению:

$$P_{\text{ср.}\Sigma} \geq P_{\text{ср}}\{0\} [1 - V_{\text{отб}}] - v \times S, \quad (8)$$

где v – корректирующий коэффициент;

S – среднеквадратичное отклонение кратковременной прочности исходных изоляторов.

Полученное значение $P_{\text{ср.}\Sigma}$ для $F_d = 0,9$, отнесенное к кратковременной нагрузке на линии, $P_{\text{наг}}\{0\}$ в %, устанавливается на координатной оси P рис. 4, и от этой точки проводится наклонная прямая 3, параллельная линии зависимости $P_{\text{из}}/\lg T$ (см. рис. 4, прямая 2) до пересечения с горизонтальной линией номинальной (длительной) нагрузки. Тогда остающийся срок безопасной работы определяется путем проецирования этой точки на ось времени.

Пример. На рис. 2 приведен случай отбраковки по критерию $\text{tg}\delta \geq 0,08$, равной 24 % демонтированных изоляторов. Данному уровню дефектности изоляторов соответствует гарантированная прочность

$$P_{\text{ср.}\Sigma}\{0,9\} = 82 \% P_{\text{наг}}\{0\}.$$

В этом случае срок безопасной эксплуатации изоляторов составляет около 10 лет. Вероятность отказа гирлянды из изоляторов оценивается величиной 0,013.

Выводы, рекомендации

Тангенс угла диэлектрических потерь является одним из наиболее легко определяемых и, в то же время, информативных параметров диагностики состояния внутренней электрической прочности фарфоровых тарельчатых изоляторов.

Установлена корреляция между уровнем изоляторов с повышенными значениями

$\text{tg}\delta \geq 0,08$ и уровнем дефектных изоляторов на реальных линиях контактной сети различных железных дорог стран СНГ.

Рекомендуется применение предложенной методики при обследовании фарфоровых изоляторов в контактных сетях железных дорог, прогнозировании объема дефектных изоляторов в них и оценки остаточного срока безопасной работы изоляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 2203-93 (ГОСТ 6490-93) Ізолятори лінійні підвісні тарільчасті. Загальні технічні умови [Текст]. – К.: Держстандарт. – 24 с.
2. Ким, Е. Д. Методика прогнозирования показателей надежности подвесных линейных изоляторов [Текст] / Е. Д. Ким, В. Н. Таран // Вестник ХГПУ. – 1999. – Вып. 69. – X., 1999. – С. 75-81.
3. Ким, Е. Д. Состояние фарфоровых изоляторов и методы их контроля [Текст] / Е. Д. Ким // Вестник ХГПУ. – 1998. – Вып. 13. – X., 1998. – С. 101-106;
4. Ким, Е. Д. Эксплуатационная надежность тарельчатых фарфоровых изоляторов в контактной сети. Прогнозирование остаточного ресурса [Текст] / Е. Д. Ким, В. Н. Таран, В. Г. Сыченко / Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 13. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 33-35.
5. IEC 1109 (1992). Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V. Definitions, test methods and acceptance criteria [Текст].

Поступила в редколлегию 22.04.2008.

ВПЛИВ НАМАГНІЧУВАЛЬНОГО СТРУМУ ТРАНСФОРМАТОРА ТА КОМУТАЦІЇ ТИРИСТОРІВ НА КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ СТАТИЧНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ УНІФІКОВАНИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

Проведено дослідження з метою розробки рекомендацій з підвищення коефіцієнту потужності статичних перетворювачів стендів випробування тягових електричних машин.

Проведено исследование с целью разработки рекомендаций по повышению коэффициента мощности статических преобразователей стендов испытания тяговых электрических машин.

With the aim to develop the recommendations for increasing the capacity factor of static converters for the traction electric machines' test stand this research has been carried out.

Вступ

У теперішній час лінійні генератори (ЛГ) та вольтододавальні машини (ВДМ), які у стендах для випробування тягових електричних машин традиційно виконувалися на базі обертальних електричних машин, доцільно замінити статичними напівпровідниковими перетворювачами. Дослідження енергетичних та інших показників статичних перетворювачів з урахуванням особливостей роботи вказаних стендів є актуальною задачею у зв'язку з обмеженими досвідом роботи таких перетворювачів та теоретичними дослідженнями їх властивостей. Основними факторами, які називають при обґрунтуванні доцільності заміни електромашинних ВДМ та ЛГ на статичні напівпровідникові (ВДП та ЛП) – це зменшення кількості електричних машин у схемі випробувального стенду, зменшення шуму при випробуваннях. Дослідження з метою розробки рекомендацій з підвищення коефіцієнту потужності з урахуванням особливостей випробувань, в першу чергу з урахуванням потужності машини, що випробується, відсутні. У даній статті дослідження проводяться для уніфікованого стенду, тобто для стенду, який передбачає можливість випробувань як двигунів електрорухомого складу, так і тепловозних двигунів.

Матеріали та результати досліджень

Розглянемо вказану задачу відносно статичного ЛП.

Потужність тягових двигунів електровозів, які у значній кількості експлуатуються на залізницях України, дорівнює в основному від

900 кВт (5АЛ-4442пР) до 525 кВт (НБ-406Б), електропоїздів від 235 кВт (1ДТ.003.6) до 180 кВт (ДК-103Г) [3].

Для тягових двигунів тепловозів – від 411 кВт (ЭД-120А) до 305 кВт (ЭД-118) [4].

Проведені розрахунки показують, що при випробуванні тягового двигуна АЛ4846дТ (770 кВт) потужність ЛП орієнтовно дорівнює 60 кВт. При наших дослідженнях приймаємо вказану потужність за базову. Один з можливих варіантів схеми статичного перетворювача наведений на рис. 1.

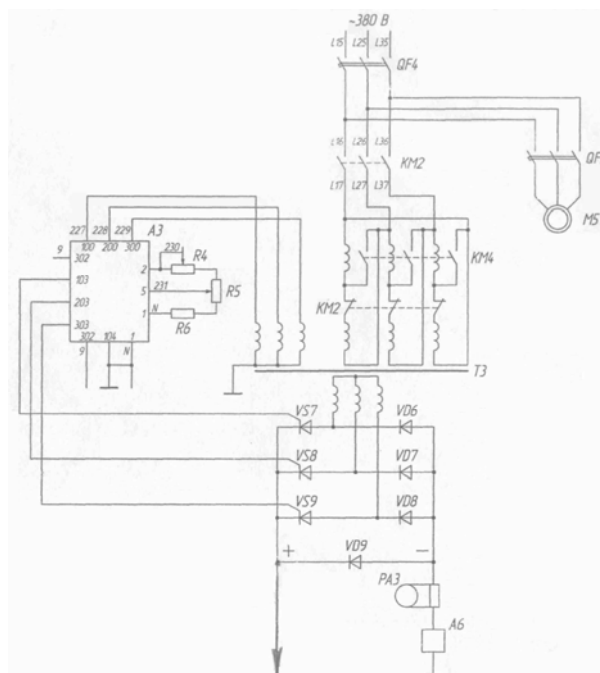


Рис. 1. Схема статичного перетворювача

Якщо прийняти орієнтовно значення $\cos \varphi = 0.8$, то потужність трансформатору статичного перетворювача ЛП випробувального стенду складає:

$$\frac{60}{0.8} = 75 \text{ кВА.}$$

Згідно ГОСТ 12022-76, обираємо найближчу потужність трифазного масляного силового трансформатора загального призначення на $S = 100$ кВА.

Реактивна потужність Q_{TP} , яка споживається керованим тиристорним перетворювачем ЛП, може бути розділена на три складові: реактивна потужність, яка споживається трансформатором перетворювача; реактивна потужність, яка зумовлена процесами комутації Q_k ; та реактивна потужність керування Q_α .

Перша складова реактивної потужності може бути визначена із співвідношення [1]:

$$Q_{TP}(i_0 + \beta^2 u_p) \cdot \frac{S}{100}, \text{ кВАР} \quad (1).$$

де i_0 – струм холостого ходу (ХХ), %;

u_p – реактивна складова напруги КЗ, %;

$\beta = \frac{I}{I_{\text{ном}}} = \frac{P}{P_{\text{ном}}}$ – коефіцієнт навантаження трансформатора.

$$u_p = \sqrt{u_k^2 - u_a^2}, \quad (2)$$

де u_k – напруга КЗ трансформатора, %;

u_a – активна складова напруги КЗ, %.

Згідно [2]:

$$u_a = \frac{P_k}{10S}, \quad (3)$$

де P_k – втрати КЗ трансформатора, Вт;

S – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Для обраного трансформатора згідно з ГОСТ 12022-76: $P_k = 1970$ Вт; $u_k = 4.5$ %; $i_0 = 2.6$ %.

$$\text{У нашому випадку: } u_a = \frac{1970}{10 \cdot 100} = 1.97 \text{ \%};$$

$$u_p = \sqrt{4.5^2 - 1.97^2} = 4.05 \text{ \%}.$$

Значення $Q_{TP} = f(\beta)$ наведені у табл. 1. Вважаємо, що потрібна при випробуваннях потужність трансформатора ЛП пропорційна потужності випробувального двигуна. Тобто орієнтовно можна вважати, що мінімальне значення коефіцієнта навантаження трансформатора дорівнює $\frac{180}{770} = 0.23$; 180 кВт – потужність двигуна ДК103Г, яка є мінімальною серед тягових двигунів.

Таблиця 1

Значення реактивної потужності, яка споживається трансформатором ЛП, в залежності від коефіцієнту навантаження

β	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Q_{TP} , кВАР	2.6	2.640	2.964	3.612	4.584	5.88	6.65

Відповідна залежність $Q_{TP} = f(\beta)$ наведена на рис 2. З рис. 2 видно, що значення Q_{TP} зростає при $\beta > 0.3$. Зростання реактивної потужності трансформатора Q_{TP} при збільшенні β від 0.3 до 1.0 складає $(6.65 - 2.6) = 4.05$ кВАР.

Явище перекриття струмів при комутації приводить до того, що імпульс струму у мережі живлення спотворюється, що у свою чергу впливає на амплітуду основної гармоніки.

Реактивна потужність Q_k , зумовлена цією причиною, зростає із зростанням кута комутації γ_k у відповідності з формулою [1]:

$$Q_k = K_k U_{d0} I_d, \quad (4)$$

де U_{d0} – середнє значення випрямленої напруги у режимі ХХ перетворювача;

I_d – середнє значення випрямленого струму;

K_k – коефіцієнт потужності, зумовлений комутацією.

При випробуванні базового двигуна (AL4846dT) розрахункові значення для перетворювача ЛП: $U_{d0} = 2000$ В, $I_d = 30$ А.

Коефіцієнт K_k є функція кута комутації:

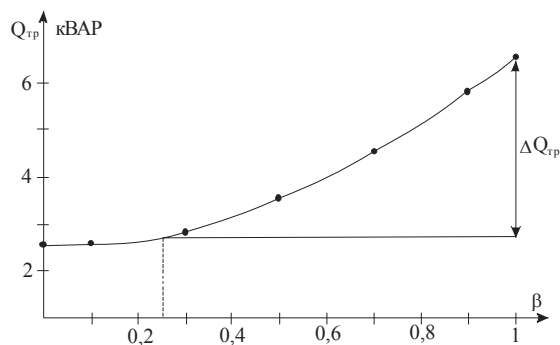


Рис. 2. Залежність реактивної потужності, яка споживається трансформатором ЛП, від коефіцієнту навантаження трансформатора

$$K_k \approx \frac{2}{3} \gamma_k - \frac{1}{13} \gamma_k^3, \quad (5)$$

де γ_k у радіанах.

Результати розрахунку Q_k при випробуванні двигуна AL4846dT наведені у табл. 2.

Відповідна залежність $Q_k = f(\gamma_k)$ наведена на рис. 3.

Реактивна потужність керування Q_α обумовлена зсувом фаз струму та напруги живлячої мережі перетворювача при кутах затримки $\alpha > 0^\circ$.

Згідно [1]:

$$Q_\alpha = K_\alpha U_{d0} I_d, \quad (6)$$

де K_α – коефіцієнт, значення якого залежить від α та γ_k .

Таблиця 2

Значення реактивної потужності комутації при випробуванні базового тягового двигуна

$\gamma_k, \frac{\text{град}}{\text{радиан}}$	5	10	20	30	40	45
K_k	0.064	0.128	0.229	0.237	0.438	0.486
$Q_k, \text{кВАР}$	3.84	7.68	13.74	14.22	26.28	29.16

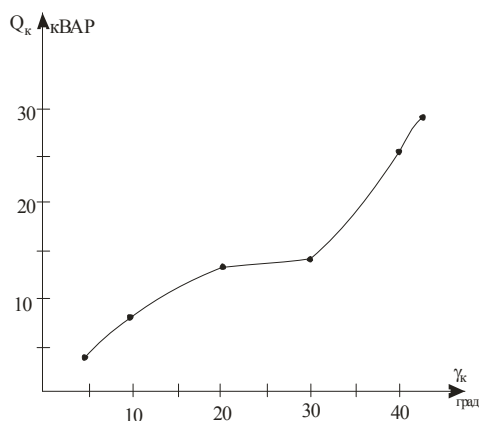


Рис. 3. Залежність реактивної потужності Q_k , яка зумовлена процесами комутації, від кута комутації

У нашому випадку значення кута α мале. У першому наближенні приймаємо $\alpha = 5^\circ$. Тоді $K_\alpha \approx 0.25$, [1] при $\gamma_k = 20^\circ$.

Потужність $Q_\alpha = 0.25 \cdot 2000 \cdot 30 = 15$ кВАР.

Сума $\sum Q$ усіх реактивних потужностей при $\beta = 1$ та $\gamma_k = 20^\circ$ при випробуванні двигуна AL4846dT дорівнює:

$$\sum Q = Q_{TP} + Q_k + Q_\alpha = 6.65 + 13.74 + 15 = 35.39 \text{ кВАР.}$$

Повна потужність:

$$S = \sqrt{P^2 + (\sum Q)^2} = \sqrt{60^2 + 35.39^2} = 69.65 \text{ кВАР.}$$

Тоді:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{60}{69.65} = 0.861.$$

Висновки

1. Розроблена автором методика дає змогу визначити коефіцієнт потужності статичних перетворювачів стендів для випробування тягових двигунів локомотивів методом взаємного навантаження.

2. Отримані чисельні значення параметрів можуть бути орієнтирами при визначенні коефіцієнту потужності під час випробувань двигунів різних типів та при розробці рекомендацій з підвищення цього коефіцієнту.

3. З точки зору зменшення реактивної потужності, яка зумовлена процесами комутації, кут комутації статичного перетворювача не повинен перевищувати 30° .

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Супронович, Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок [Текст] / Г. Супронович. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.

2. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов [Текст] / П. М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 526 с.
3. Правила ремонту електричних машин електро-
возів і електропоїздів [Текст]. ЦТ-0063, 2003. – 286 с.
4. Правила ремонту електричних машин тепло-
зів [Текст]. ЦТ-0064, 2003. – 122 с.

Надійшла до редколегії 01.09.2008.

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОБ'ЄМУ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

У статті порушені питання визначення питомого об'єму статичних перетворювачів для багатосистемного електрорухомого складу залізниць.

В статье затронуты вопросы определения удельного объема статических преобразователей для многосистемного электроподвижного состава железных дорог.

Issues of determination of the specific volume of steady-state converters for multi-system electric rolling stock of railways are discussed in the article.

Вступ. Питання використання асинхронного електроприводу на електрорухомому складі (ЕРС) не нове, йому присвячена значна кількість праць [1, 2, 3 та інш.]. В цих роботах статичний перетворювач частоти, який є невід'ємною частиною асинхронного тягового електроприводу (АТЕ), розглянуто в загальному вигляді. Більш детально проведено порівняльний аналіз різних варіантів побудови статичних перетворювачів для живлення тягових асинхронних двигунів (АТД) у роботі [4]. Дослідження, проведені авторами [4], базувались на можливостях елементної бази того часу. Сучасна елементна база [5] дозволяє будувати статичні перетворювачі з великими функціональними можливостями.

Але не варто забувати, що габарити статичного перетворювача для електровозу обмежена розмірами кузова, оскільки крім статичного перетворювача в кузові потрібно розташувати інше обладнання.

Особливо гостро це питання постає при розробці перспективного багатосистемного електрорухомого складу. Під багатосистемним мається на увазі ЕРС, який зможе працювати як при постійному, так і змінному струмах при різних рівнях напруги у контактній мережі.

Вітчизняні електровозобудівники вже мають досвід побудови тягового асинхронного електроприводу – електровоз змінного струму ДСЗ, у складі якого використовувався статичний перетворювач фірми Siemens [6]. На сучасному етапі ведуться розробки магістрального пасажирського електровозу постійного-змінного струму (3/25 кВ).

Але ж питання визначення взаємного зв'язку між потужністю тягового приводу та масо-габаритними показниками статичного перетворювача, що є невід'ємною його частиною,

не порушувалось, тому автором проведено аналіз промислових перетворювачів для розробки рекомендацій щодо раціональних конструктивних показників перетворювачів тягового приводу.

Мета роботи. Дослідити питання визначення питомого об'єму статичних перетворювачів для багатосистемного електрорухомого складу залізниць з асинхронними тяговими двигунами.

Матеріал і результати дослідження.

Традиційного питомий об'єм визначаємо як:

$$V_p = \frac{V}{P} [\text{м}^3/\text{кВт}],$$
 де V – об'єм статичного перетворювача, м^3 ; P – потужність перетворювача, кВт [7].

Вихідними даними є: потужність, габарити, елементна база та вид охолодження існуючих перетворювачів.

У представлений роботі проаналізовані основні показники перетворювачів таких фірм та підприємств: Siemens, ABB, Rockwell Automation (Allen-Bradley).

Загалом проаналізовано 402 перетворювача, з них Siemens (176), ABB (154), Rockwell Automation (72).

Було проведено аналіз статичних перетворювачів частотно-регульованого асинхронного електроприводу з номінальними напругами з ряду 380, 400, 415, 440, 460, 480, 500, 525, 575, 600, 660, 690 В (низьковольтні) та високовольтні перетворювачі з напругами 2300, 3300, 4160, 6000, 6600 В (представлений ряд напруг є стандартним для фірм європейських виробників перетворювачів та частково співпадає з рядом номінальних напруг, діючим в країнах СНД [9]).

До уваги бралися перетворювачі з потужністю понад 75 кВт включно, оскільки аналіз конструкцій існуючих перетворювачів ведучих

фірм виробників показав, що саме з цієї потужності починається ряд конструктивного виконання всіх потужних перетворювачів.

Представлені надалі залежності питомої маси $M_p = f(P)$ та питомого об'єму $V_p = f(P)$ від потужності перетворювачів враховують тип елементної бази, вид охолодження. Діапазон робочих напруг визначено після попереднього порівняння графічних залежностей. Наприклад, на рис. 1 представлена залежність $V_p = f(P)$, побудована за експериментальними даними для перетворювачів серії Simovert фірми Siemens (елементна база – IGBT, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг від 2,3 до 6 кВ.

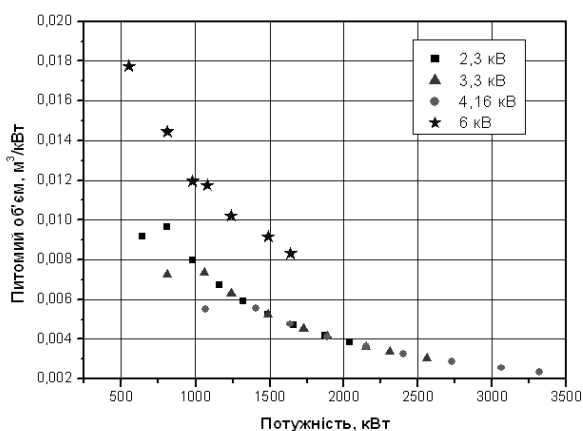


Рис. 1. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens від потужності перетворювачів

З представлених на рис. 1 залежностей бачимо, що в діапазоні номінальних напруг 2,3...4,16 кВ експериментальні дані, отримані по каталогових параметрах перетворювачів, знаходяться в приблизно одному діапазоні. Для перетворювачів з напругою 6 кВ експериментальні дані по питомій масі значно відрізняються від даних діапазону 2,3...4,16 кВ, тому в першому наближенні для отримання апроксимованих залежностей групуємо перетворювачі з напругами 2,3...4,16 кВ окремо від перетворювачів з напругою 6 кВ. Слід відмітити, що характер залежностей схожий, вони приблизно рівновіддалені одна від одної.

Питома маса перетворювача потужністю 980 кВт при напрузі 2,3 кВ (рис. 1) приблизно складає 0,00798 м³/кВт, а при напрузі 6 кВ: 0,01195 м³/кВт, в $\frac{0,01195}{0,00798} = 1,497$ рази більше.

Така різниця в показниках питомого об'єму між перетворювачами з різною робочою напругою та однакою потужністю пояснюється, в пер-

шу чергу, необхідністю підвищення відстані між елементами перетворювача.

Це твердження підтверджується аналізом залежності відстані по поверхні ізоляції та величини повітряного зазору від робочої напруги електроустаткування [8, стор. 112, черт. 1, крива 4]. При робочій напрузі 2,3 кВ мінімальна відстань між елементами та деталями електроустаткування по поверхні повинна складати не менш як 54 мм, а при 6 кВ – не менш як 82 мм, що в $\frac{82}{54} = 1,52$ рази більше, а відповідно зростає і об'єм електроустаткування. Саме це співвідношення підтверджує отримане раніше співвідношення питомих об'ємів перетворювачів з робочими напругами 2,3 та 6 кВ.

Для отримання аналітичних залежностей для питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens від їх потужності проведемо апроксимацію експериментальних значень для перетворювачів діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ (рис. 2).

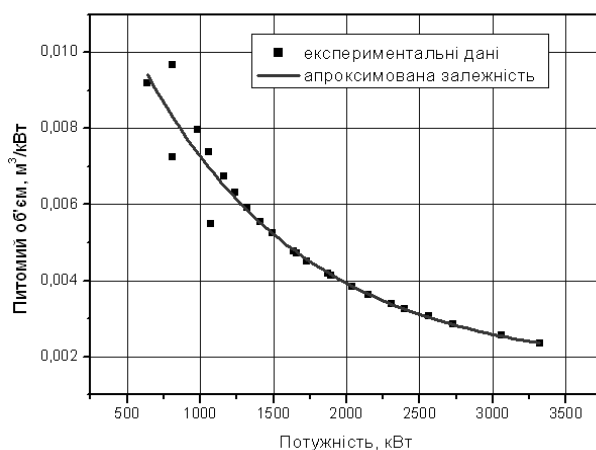


Рис. 2. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ від потужності перетворювачів

Залежність питомого об'єму перетворювачів від потужності апроксимувались за допомогою наступних виразів (у загальному вигляді):

$$y(x) = y_0 + A_1 e^{\left(\frac{x}{t_1}\right)} + A_2 e^{\left(\frac{-x}{t_2}\right)} \quad (\text{експоненціальна другого порядку}).$$

При цьому коефіцієнти апроксимації мають наступні значення: $y_0 = 0,00169$, $A_1 = 0,00902$, $t_1 = 1089,60885$, $A_2 = 0,00482$, $t_2 = 1117,9204$.

Тоді вираз для апроксимованої залежності $V_p = f(P)$ має вигляд:

$$V_p(P) = 0,00169 + 0,00902 \cdot e^{\left(\frac{P}{1089,60885}\right)} + 0,00482 \cdot e^{\left(\frac{P}{1117,9204}\right)}$$

Аналогічно отримуємо аналітичні залежності питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens діапазону номінальних напруг 6...6,6 кВ від потужності перетворювачів (рис. 3).

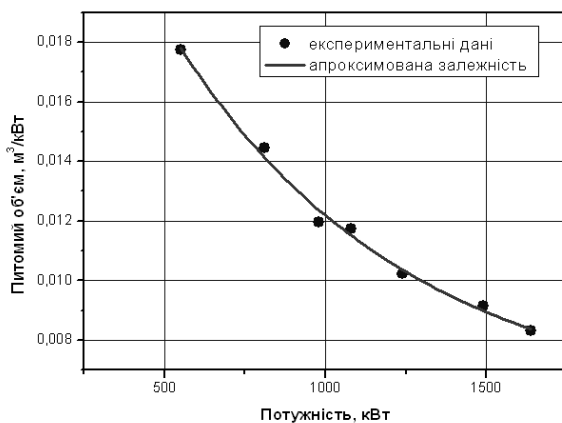


Рис. 3. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens діапазону номінальних напруг 6...6,6 кВ від потужності перетворювачів

Аналізуючи технічні характеристики та параметри перетворювачів серії Simovert фірми Siemens, крім стандартних перетворювачів до складу серії також входять пристрої з вбудованими у перетворювач засобами покращення електромагнітної сумісності (ЕМС). На рис. 4 представлені залежності питомого об'єму перетворювачів серії Simovert з ЕМС фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ від потужності перетворювачів, як експериментальні, так і апроксимовані.

На рис. 5 наведені разом залежності $V_p = f(P)$ для перетворювачів серії Simovert без пристроїв ЕМС та з пристроями ЕМС фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ та 6...6,6 кВ.

Як бачимо з рис.5, введення до складу перетворювачів пристроїв для покращення ЕМС значно підвищує об'єм перетворювача, наближаючи ці показники до перетворювачів з більшою номінальною напругою.

В сучасних умовах покращення якості електричної енергії в електричній (контактній) мережі та зменшення впливу на основні показники якості електроенергії зі сторони навантаження (електровозів та електропозідів) є важливою проблемою, але у даній роботі ці питання не розглядаються, тому за базові при розра-

хунках приймаємо перетворювачі без пристроїв ЕМС. Номінальною напругою для перетворювачів у першому наближенні приймаємо 2,3 кВ, оскільки це відповідає рівню номінальної напруги сучасних тягових асинхронних двигунів (наприклад номінальна напруга асинхронного двигуна АД914, що встановлений на електровозі ДСЗ, дорівнює 1870 В).

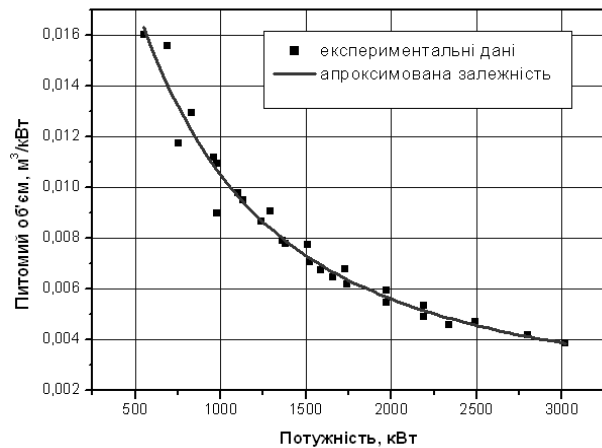


Рис. 4. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert з ЕМС фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ від потужності перетворювачів

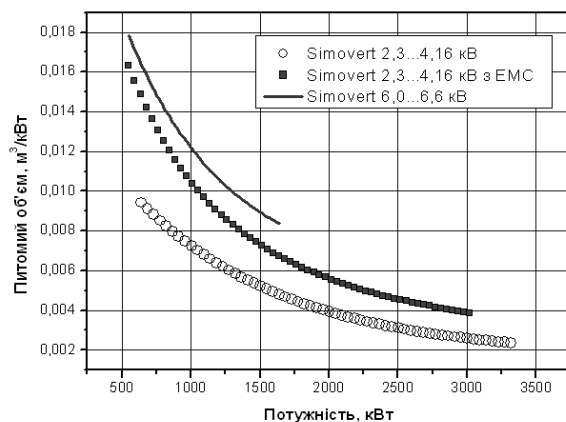


Рис. 5. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert без та з ЕМС фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ та 6...6,6 кВ від потужності перетворювачів

Дослідимо, яким чином впливає рівень напруги на основні конструктивні показники перетворювачів, для цього порівняємо залежності питомого об'єму $V_p = f(P)$ від потужності перетворювачів серій Simovert та Sinamics фірми Siemens, побудованих з використанням IGBT з природним повітряним охолодженням. Оскільки перетворювачі розробки та виробництва однієї фірми, це в якійсь мірі виключає фактор впливу конструктивних особливостей перетво-

рювачів окремих виробників (що дослідимо надалі).

На рис. 6 представлена залежність $V_p = f(P)$, побудована за експериментальними даними та апроксимована експоненціальною залежністю другого порядку для перетворювачів серії Sinamics G150 ver. A фірми Siemens (елементна база – IGBT, охолодження – природне повітряне), діапазон номінальних напруг: 380...690 В.

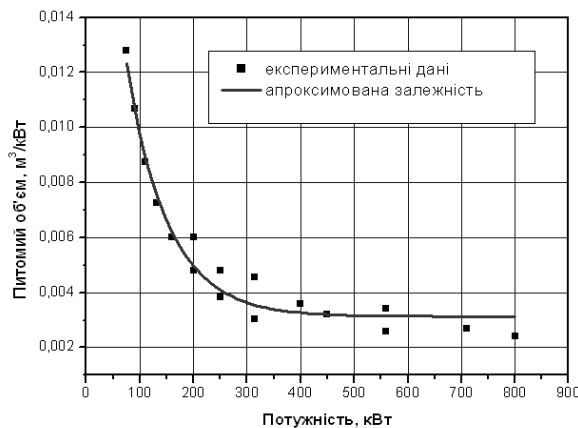


Рис. 6. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Sinamics G150 ver. A фірми Siemens від потужності перетворювачів $V_p = f(P)$

Порівняємо між собою залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert (2,3...4,16 кВ) та Sinamics (380...690 В) фірми Siemens від потужності перетворювачів (рис. 7).

Аналіз представлених на рис. 7 залежностей показує їх різницю не тільки в числових значеннях, але й в характері – вони не рівновіддалені одна від одної. В цьому випадку пояснити їх різницю тільки відмінністю повітряного зазору між елементами перетворювача неможливо.

При цьому слід враховувати, що в розглянутих перетворювачах серії Simovert використовують примусове повітряне охолодження, а в перетворювачах серії Sinamics природне повітряне охолодження. Саме цим пояснюється різниця між величинами питомого об'єму при однаковій потужності та характер залежностей, представлених на рис. 7.

Представимо залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ з водяним охолодженням від потужності перетворювачів за методикою, яка використана раніше. Результати експериментальні та апроксимована залежність представлені на рис. 8.

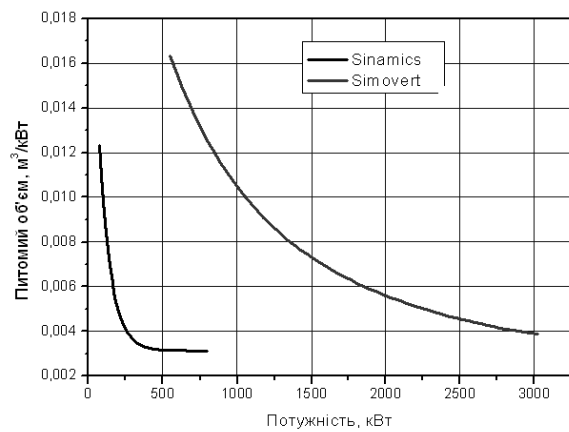


Рис. 7. Залежність питомого об'єму перетворювачів серій Sinamics (380...690 В) та Simovert (2,3...4,16 кВ) фірми Siemens від потужності перетворювачів

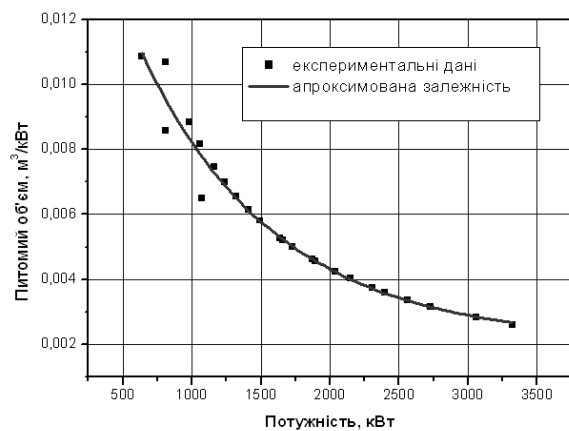


Рис. 8. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії Simovert фірми Siemens діапазону номінальних напруг 2,3...4,16 кВ з водяним охолодженням від потужності перетворювачів

Вплив виду охолодження на конструктивні параметри перетворювачів ілюструють залежності, представлені на рис. 9.

Аналіз представлених на рис. 9 залежностей показує, що залежності питомого об'єму перетворювачів від потужності при примусовому повітряному і водяному охолодженні приблизно рівновіддалені одна від одної. Так, перетворювач потужністю 1000 кВт при примусовому повітряному охолодженні характеризується питомим об'ємом приблизно 0,01039 м³/кВт, а при водяному охолодженні – 0,00819 м³/кВт, тобто в $\frac{0,00819}{0,01039} = 0,79$ рази менше. Таким чи-

ном, використання водяного охолодження при побудові перетворювачів для багатосистемних електровозів дозволить зменшити габарити перетворювачів приблизно на 20...25 %, що є важливим в умовах обмеженого простору кузова електровоза.

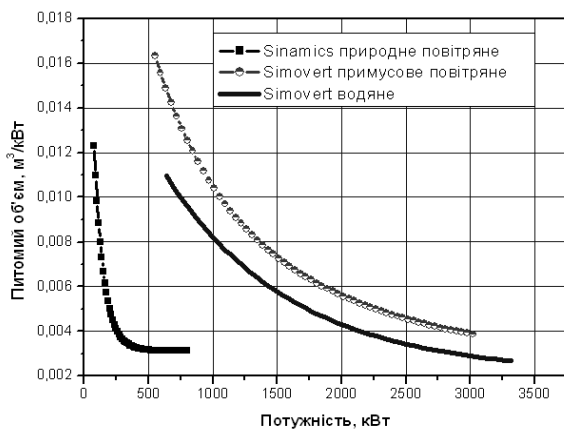


Рис. 9. Залежність питомого об'єму перетворювачів серій Sinamics (380...690 В) та Simovert (2,3...4,16 кВ) з примусовим повітряним та водяним охолодженням фірми Siemens від потужності перетворювачів

Значний вплив на масо-габаритні показники перетворювачів мають традиції проектування та готові інженерні рішення фірм-виробників, а також елементна база, яку використовують розробники перетворювачів. Проведемо дослідження впливу вищевказаних факторів на питомий об'єм перетворювачів різних виробників з урахуванням елементної бази перетворювачів. За базові приймаємо залежності, що характеризують перетворювачі фірми Siemens, що наведені вище.

На рис. 10 представлено залежність питомого об'єму перетворювачів серії ACS800, ACS550 фірми ABB з номінальними напругами до одного кВ (елементна база – IGBT, охолодження – природне повітряне).

На рис. 11 для порівняння представлені залежності $V_p = f(P)$ для перетворювачів фірм ABB та Siemens діапазону напруг до одного кВ, елементна база – IGBT, охолодження – природне повітряне.

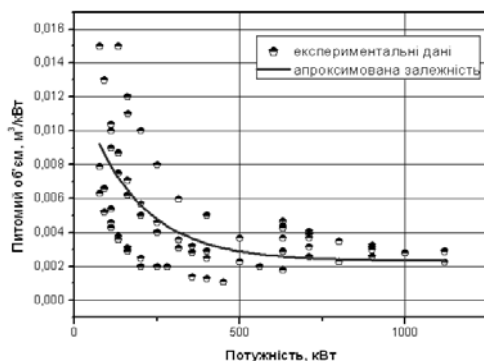


Рис. 10. Залежність питомого об'єму перетворювачів серії ACS800, ACS550 фірми ABB з номінальними напругами до одного кВ

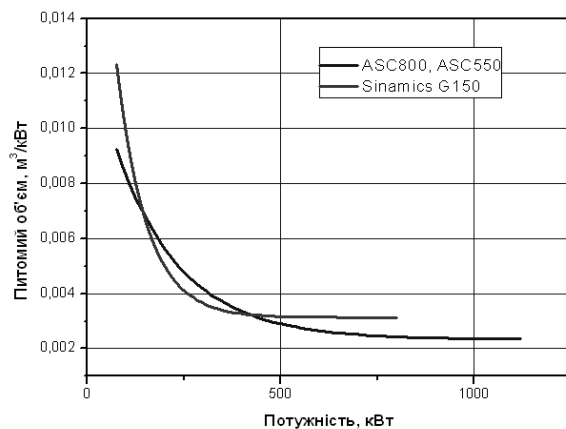


Рис. 11. Порівняння залежностей питомого об'єму перетворювачів серії ACS800, ACS550 фірми ABB та перетворювачів серії Sinamics G150 ver. A фірми Siemens

Як бачимо з рис. 11, характер та числові значення залежностей питомого об'єму перетворювачів серії ACS800, ACS550 фірми ABB та перетворювачів серії Sinamics G150 ver. A фірми Siemens є близькими, що може пояснюватися однаковими підходами до проектування перетворювачів, незмінною фізикою теплових та електричних процесів.

Високовольтні перетворювачі з використанням повітряного та водяного (рідинного) охолодження випускаються фірмою Rockwell Automation, елементною базою яких є SGCT тиристори.

На рис. 12 та 13 представлено залежність питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT, з примусовим повітряним (рис. 12) та водяним (рис. 13) охолодженням).

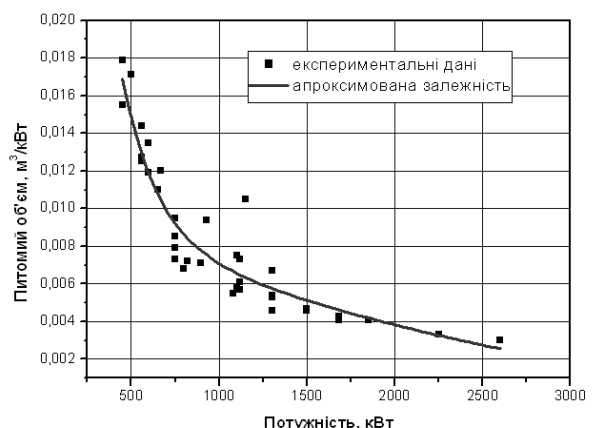


Рис. 12. Залежність питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT, з примусовим повітряним охолодженням)

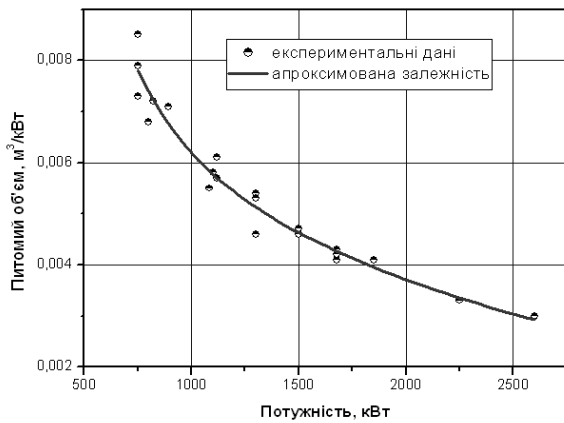


Рис. 13. Залежність питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT, з водяним охолодженням)

Порівняємо між собою залежності питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens з примусовим повітряним (рис. 14) та водяним (рис. 15) охолодженням).

Розбіжність отриманих залежностей можливо пояснити, в першу чергу, використанням у складі перетворювача різної елементної бази: SGCT та IGBT. Так, загальновідомим є той факт, що IGBT по відношенню до тиристорів (в тому числі SGCT) характеризуються більш високими втратами потужності [5], що веде до збільшення габаритних розмірів радіаторів системи охолодження та перетворювача у цілому.

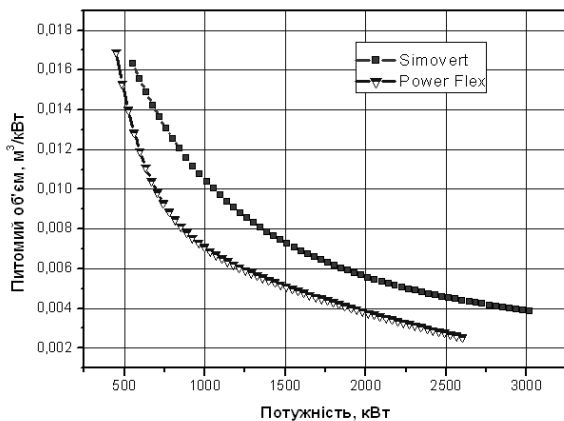


Рис. 14. Порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens з примусовим повітряним охолодженням

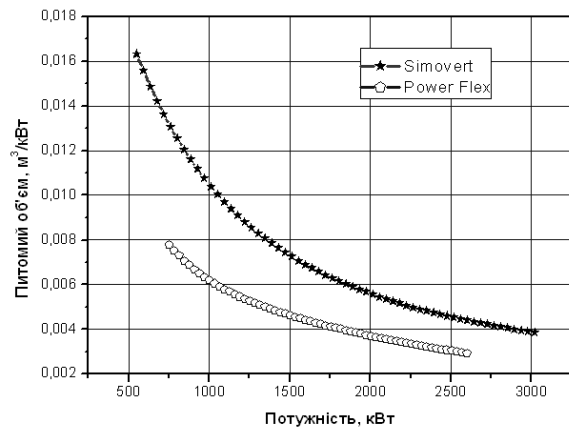


Рис. 15. Порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens з водяним охолодженням

Переваги використання тиристорів у складі перетворювачів, з точки зору масо-габаритних показників, ілюструє порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation з примусовим повітряним охолодженням (елементна база – SGCT) та серії Simovert фірми Siemens з водяним охолодженням (елементна база – IGBT) (рис. 16).

Як бачимо з рис. 16, перетворювачі, які побудовані з використанням SGCT та мають примусове повітряне охолодження, характеризуються меншими габаритними показниками у порівнянні з перетворювачами, які побудовані з використанням IGBT та мають водяне охолодження (при однакових потужностях).

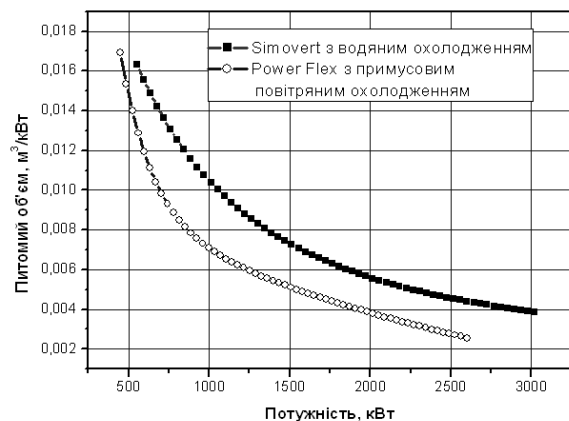


Рис. 16. Порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation з примусовим повітряним охолодженням (елементна база – SGCT) та серії Simovert фірми Siemens з водяним охолодженням (елементна база – IGBT)

Загальні висновки.

1. Проведений аналіз габаритних показників перетворювачів різної потужності для асинхронного електроприводу дозволив визначити аналітичні залежності питомого об'єму перетворювача від потужності.

2. При проведенні аналізу перетворювачі групувались за наступними критеріями: виробник, діапазон робочих напруг, елементна база, система охолодження.

3. Вплив інженерної школи та готових технічних рішень, які відповідають різним виробникам, на залежність питомого об'єму перетворювача від потужності є мінімальним. Це можливо пояснити однаковими підходами до проектування перетворювачів, незмінною фізикою теплових та електричних процесів.

4. Вплив діапазону робочих напруг на габаритні показники перетворювачів є досить значним, оскільки з ростом напруги зростає мінімальна допустима відстань між елементами перетворювача.

5. Вплив елементної бази перетворювача на залежність питомого об'єму перетворювача від потужності пояснюється, в першу чергу, залежністю габаритних розмірів системи охолодження від втрат потужності на силових елементах перетворювача. Тому, з цієї точки зору, використання SGCT, IGCT приладів у складі перетворювачів є більш зручним по відношенню до IGBT приладів.

6. Вплив системи охолодження на габаритні розміри перетворювачів напряму залежить від виду елементної бази. Як показав порівняльний аналіз залежностей питомого об'єму високовольтих перетворювачів від потужності, при використанні різної елементної бази перетворювач на базі IGBT з водяним охолодженням має приблизно такі ж показники, як і перетворювач з примусовим охолодженням на базі SGCT.

7. Отримані результати досліджень є базою для визначення конструктивних показників перетворювачів тягового електроприводу з використанням АТД.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины [Текст]: учебник для вузов ж.-д трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Романов. – М.: Транспорт, 1991. – 343 с.
2. Калинин, В. К. Электровозы и электропоезда [Текст] / В. К. Калинин. – М.: Транспорт, 1991. – 480 с.
3. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу [Текст]: навч. посібник / В. М. Безрученко, В. К. Марченко. В. В. Чумак. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – 252 с.
4. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / под ред. А. М. Солодунова. – Рига: Зинантне, 1991. – 351 с.
5. Муха, А. М. Перспективна елементна база електричних кін електрорухомого складу залізниць України [Текст] / А. М. Муха, Д. С. Білухін // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2006. – Вип. 4/2006 (39), част. 1. – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 32-34.
6. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу [Текст]: навч. посібник / В. М. Безрученко, В. К. Марченко. В. В. Чумак. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – 252 с.
7. Зиновьев, Г. С. Основы силовой электроники [Текст]: учебник. – Ч. 1 / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 199 с.
8. Проектирование и изготовление электрооборудования для электрической тяги. Руководящие технические материалы [Текст]. – М.: ВНИИ-ЭМ, 1968. – 276 с.
9. Электротехнический справочник [Текст]: в 3-х т. – Т. 1 / под ред. В. Г. Герасимова и др. – М.: Энергия, 1980. – 520 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2008.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО УЗЛА ТОКОПРИЕМНИКА

В УрДУШСі розроблено нову конструкцію верхнього вузла струмоприймача, яка дозволяє підвищити стабільність контактного натиснення, понизити приведену масу, зменшити знос контактуючих елементів. Ефект досягається за рахунок установки третьої, додаткової каретки у верхній вузол.

В УрГУПСе разработана новая конструкция верхнего узла токоприемника, позволяющего повысить стабильность контактного нажатия, снизить приведенную массу, уменьшить износ контактирующих элементов. Эффект достигается за счет установки третьей, дополнительной каретки в верхний узел.

In UrGUPS a new design of top assembly of current collector is developed allowing to improve the stability of contact pressure, to decrease the reduced mass, to lower the wear of contacting elements. The effect is achieved through the installation of third additional carriage to the top assembly.

Для обеспечения хорошего качества токосъема считается, что контактная подвеска должна обладать следующими свойствами:

- минимальное изменение жесткости по длине пролета;
- стрела провеса контактного провода позволяет получить траекторию токоприемника, наиболее близкую к прямолинейной.

Попробуємо проаналізувати дані вимоги. Мінімізація зміни жорсткості по довжині прольоту вимагає зменшення довжини прольоту, або застосування складних підтримуючих конструкцій, що призведе до ускладнення і удорожання підвески. Схочемо, що підпорний вузол з ресорною струною більш ефективний, тому що коефіцієнт жорсткості ближче до одиниці, що теоретично повинно забезпечити більш високі швидкості руху ЕПС. Однак максимальна швидкість ЕПС була встановлена на контактній підвесці з простими зміщеними опорними струнами. Припустимо, що перше вищезгадане вимога до підвески не зовсім правильно.

Тепер друге вимога – про траєкторію. Для зменшення зносу контактуючих елементів набагато важливіше стабільне контактне нажаття, а зв'язь між прямолинійністю траєкторії точки контакту і незмінним нажаттям не столь очевидна.

Таким чином, можна передбачити, що вимоги, пред'явлювані до контактної підвески для забезпечення хорошого якості токосъема, мають ряд недоліків. До згаданих недоліків можна віднести наступне: в вимогах не згадані параметри токоприймача, а для узгодженого взаємодія

двох контактуючих елементів їх параметри повинні бути також узгоджені.

В результаті досліджень, проведених в УрГУПСе, можна додати нові вимоги до якості токосъема:

- нерівномірність еластичності контактної підвески по довжині прольоту повинна бути узгоджена з нерівномірністю жорсткості токоприймача по ширині полоза;
- сума приведених мас контактної підвески і токоприймача повинна бути постійною величиною;
- токоприймач і контактна подвеска повинні розроблятися спільно.

В результаті аналізу нерівномірності змін еластичності контактної підвески в УрГУПСе була запропонована нова конструкція верхнього узла токоприймача ЕПС, включаюча додаткову середню каретку. Розміщення додаткової каретки стабілізує контактне нажаття як в середній частині полоза, так і в районі розміщення фіксатора контактної мережі, де полз виконує не тільки поступальне, але і обертовий рух, що дозволяє посилити ефект приведення. Таким чином, нерівномірна еластичність контактної підвески буде компенсована нерівномірною приведеною масою токоприймача по ширині полоза.

Схочемо, що в токоприймачах класическої форми (виконаних в формі п'ятигольника) можливості суттєвого зменшення приведеної маси виснажені давно [1]. Попробуємо з цим не погодитися.

Розглянемо принципову будову верхнього узла токоприймача електроподвижного складу (рис. 1).

Полоз, расположенный на упругих элементах (каретках), взаимодействует с контактным проводом своей массой $m_{\text{п}}$. Снижение этой массы ограничено механической жесткостью полоза и массой контактных вставок. В случае синхронизированных кареток полоз совершает поступательное движение вверх-вниз, при этом в движение приходит вся масса полоза. В случае наличия эффекта приведения для несинхронизированных и упруго-синхронизированных кареток можно добиться некоторого снижения приведенной массы верхнего узла за счет уменьшения массы полоза, приходящей в движение при взаимодействии с подвеской. Кроме того, за счет наличия люфтов нижние рамы также действуют несинхронно.

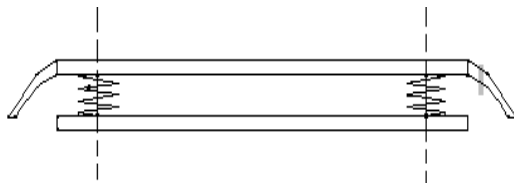


Рис. 1. Верхний узел токоприемника с двумя каретками

Также возможно уменьшение движений подвижных рам токоприемника, следовательно, снижение приведенной массы m_T за счет увеличения хода кареток, что подтверждает опыт ОмГУПС с применением рычажной каретки с увеличенным до 150 мм свободным ходом, которая «в работе отслеживает траекторию контактного провода, при этом рама практически не работает» [2].

Разработанная в УрГУПС оригинальная конструкция верхнего узла токоприемника, включающая в себя полоз, соединенный с подвижными рамами посредством боковых кареток, между которыми размещена дополнительная каретка (рис. 2), позволяет за счет несложной модернизации токоприемника придать ему новые, более высокие эксплуатационные качества.

В процессе взаимодействия полоза с контактным проводом в средней части, полоз совершает поступательные движения вверх-вниз, а при контакте в боковой части полоз дополнительно наклоняется в сторону зигзага. Т.к. благодаря жесткости дополнительной каретки в движение приходит не вся масса полоза, то приведенная масса токоприемника при контакте в боковой части полоза будет меньше, чем при контакте в средней его части. Таким образом, неравномерная эластичность контактной подвески будет скомпенсирована неравномерной приведенной массой токоприемника по ширине полоза.

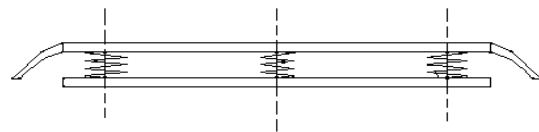


Рис. 2. Верхний узел токоприемника с дополнительной кареткой

Применение дополнительной каретки позволяет уменьшить массу полоза, ограниченную по условиям жесткости, уменьшив ребро жесткости, что, в свою очередь, позволит уменьшить подъемную аэродинамическую силу и лобовое сопротивление токоприемника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Токоприемники электроподвижного состава [Текст] / под ред. И. А. Беляева. – М.: Транспорт, 1970. – 192 с.
2. Улучшение характеристик эксплуатации токоприемников в связи с повышением скоростей движения [Текст] / В. П. Михеев и др. // III Межд. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электроподвижного состава»: тез. докл. – Новочеркасск, 2000.

Поступила в редколлегию 22.04.2008.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІБРОТРАМБІВКИ ҐРУНТУ НА ПЛОСКІЙ ПОВЕРХНІ

Наведені варіанти зниження опору переміщення вібротрамбівки на плоскій поверхні.

Приведены варианты снижения сопротивления перемещения вибротрамбовки на плоской поверхности.

Variants of reducing the resistance to moving of a vibrorammer on flat surface are presented.

Вступ

Вібротрамбівки використовують при ущільненні спорудженого ґрунтового полотна залізничної колії у зв'язку з тим, що перспективна тенденція організації швидкісного руху, який пов'язаний з якістю утворення нижньої і верхньої будови колії. Зокрема, нижня будова колії суттєво залежить від якості ущільнення ґрунту. Крім того, створюючи другі колії та збільшуючи радіуси кривих, можна досягти підвищення швидкості руху на базі існуючих залізниць. Вібротрамбівки забезпечують ефективне ущільнення зв'язних та незв'язних ґрунтів (у тому числі і крупно уламкових, а також сухої комковатої глини), як правило, на другому етапі їх ущільнення, тобто після роботи машин каткового типу. Область їх використання поширюється на ущільнення ґрунтового полотна доріг, які будуються, перед та після укладки асфальтного чи бетонного покриття, для ущільнення основи під дамбами та відкосів насипів, в обмежених габаритних умовах і незручних місцях та при ущільненні засипаних котлованів, траншей, ям.

Аналіз публікацій

Основна перевага трамбівок перед катками у тому, що цими машинами можна продуктивно ущільнювати шари ґрунту значної товщини, проводити ущільнення окремих ділянок насипу та використовувати їх у комплексі з іншими ущільнюючими машинами.

Результати проведених досліджень визначають раціональні варіанти рішення проблеми, пов'язаної зі зменшенням опору переміщення вібротрамбівки на плоскій основі.

Існуючий парк трамбівок нараховує велике їх різноманіття. Вони бувають самохідними і причіпними, з регулюванням напрямлення збудовуючої сили і без регулювання, з приводом від ДВЗ, електро- чи комбінованим приводом.

Мета і постановка задачі

На даний час питання визначення опору переміщення вібротрамбівки набуває актуальності, тому що на загальному фоні машин каткового типу вони представлені в обмеженому діапазоні варіантів. Можливо, це пов'язано з недостатньо повним вивченням напряду щодо визначення опору переміщення вібротрамбівки по ґрунту на площині та методикою зменшення опору. Крім того, враховуючи послідовність використання вібротрамбівок після або замість машин каткового типу, доречно запропонувати конструкції машин комплексної дії на ґрунт, тобто сумістити в одній машині робочі органи каткового, віброкаткового і вібротрамбуючого типу, або, навіть, віброударного чи ударного типу на плоскій основі. Це дасть змогу підвищити ефективність ущільнення ґрунту при скороченні часу на виконання робіт.

Рішення задачі

Одним з варіантів вирішення проблеми є налагодження дебалансів таким чином, щоб трамбівка завдяки частковому використанню збудовуючої сили самостійно керовано пересувалась заданим шляхом. Іншим варіантом пропозиції є виготовлення чи обробка плоскої основи робочого органу з врахуванням властивостей матеріалу так, щоб зменшити коефіцієнт тертя з ґрунтом, або виконання корегування параметрів, які впливають на величину роботи щодо переміщення вібротрамбівки.

Зміна параметрів вібротрамбівки можлива за рахунок модернізації існуючих чи проектування нових її видів.

Розглянемо пластину, що вільно опирається по контуру і завантажена в центрі силою P . При волочінні пластини за нею в пластичному матеріалі ґрунтової основи залишається слід у вигляді канавки.

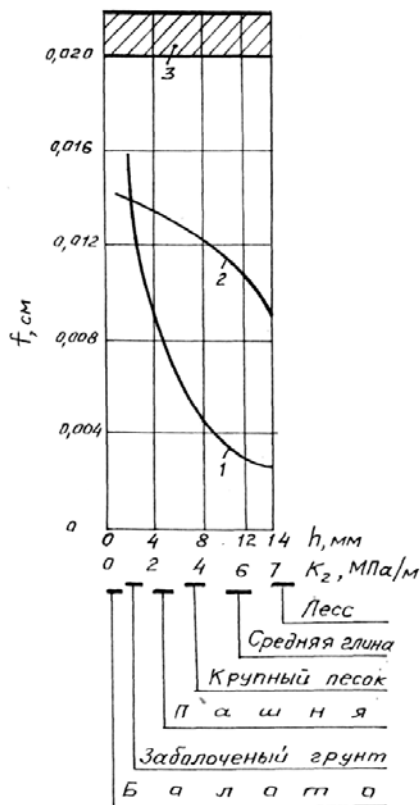


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя пластини по ґрунтовій основі в залежності:

1 – від коефіцієнта k_2 (опору зминання); 2 – товщина пластини; 3 – коефіцієнта тертя металевої пластини по снігу

При пересуванні пластини на відстань L_n необхідно виконати роботу

$$A_{\text{см}} = \frac{4P^2 L_n}{LB^2 \left[k_2 + \frac{E_1 \pi^4 h^3}{12(1-\nu_1^2)} \left(\frac{1}{L^2} + \frac{1}{B^2} \right)^2 \right]}. \quad (1)$$

Робота, яку необхідно затрачувати на пересування абсолютно жорсткої пластини (плити),

завантаженої силою P з умовним коефіцієнтом тертя $f_{\text{см}}$ по ґрунтовій основі

$$A_{\text{см}} = f_{\text{см}} PL_n. \quad (2)$$

Порівнюючи останні дві формули, отримаємо величину коефіцієнта тертя, що припадає на зминання ґрунтової основи пластиною

$$f_{\text{см}} = \frac{4P}{LB^2 \left[k_2 + \frac{E_1 \pi^4 h^3}{12(1-\nu_1^2)} \left(\frac{1}{L^2} + \frac{1}{B^2} \right)^2 \right]}. \quad (3)$$

Відзначимо, що ця формула справедлива тільки для прямокутної пластини з шарнірним обпиранням країв; для інших граничних умов вираз матиме інший вигляд.

Висновки

Розрахунки показують, що для реальних умов величина умовного коефіцієнта тертя складає від декількох десятків до п'ятидесяти, шестидесяти відсотків коефіцієнта тертя, що, в свою чергу, впливає на витрати потужності. Зменшення величини параметрів умовного коефіцієнта тертя може оптимізувати витрати, пов'язані з ущільненням ґрунту та переміщенням робочого органу.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Хархута, Н. Я. Машины для уплотнения грунтов [Текст] / Н. Я. Хархута. – М.-Л.: Машгиз, 1953. – С. 162.
2. Хархута, Н. Я. Машины для уплотнения грунтов [Текст] / Н. Я. Хархута. – Л.: Машиностроение, 1973. – С. 176.

Надійшла до редколегії 16.09.2008.

Г. Г. КВАНТАЛИАНИ (Грузинский технический университет, Тбилиси),
И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ), Т. Г. ТОДУА (Marabda-Kartsakhi Railway),
Б. И. ТОРОПОВ (Киевгипротранс)

ОЦЕНКА ПЕРЕГРЕВА КОМПОЗИЦИОННЫХ КОЛОДОК НА ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ

Розглядаються способи оцінки перегріву композиційних колодок на перевальних ділянках.

Рассматриваются способы оценки перегрева композиционных колодок на перевальных участках.

The methods of estimation of overheat of composition brake shoes on mountain pass sections are considered.

При проектировании переустройства перевальных участков необходимо определять допускаемые скорости с учетом торможения. При этом должна обеспечиваться остановка поезда на заданном расстоянии, а тормозные колодки не должны перегреваться. Композиционные колодки, получившие в последнее время широкое распространение, очень чувствительны к перегреву, да и допускаемая температура такого перегрева существенно ниже по сравнению с чугунами.

К сожалению, официально утвержденных методик по расчету перегрева тормозных колодок не существует.

Проф. Иноземцев В. Г. предложил для проверки теплового режима при длительном торможении на спуске без рекуперационного тормоза ряд подходов. В частности, рекомендуется проверку осуществлять по следующему неравенству:

$$\frac{\alpha_R \cdot H \cdot P \cdot \varepsilon}{t \cdot d} (1 - e^{-0,03\sqrt{t}}) \leq 2, \quad (1)$$

где α_R – коэффициент распределения теплового потока, равный 0,7 для чугунных и 0,95 – для композиционных колодок;

H – разность высот на участке торможения, м;

P – нагрузка на колесо;

ε – коэффициент учета неравномерности работы колес;

t – время торможения, с;

d – диаметр колеса.

Подставив в (1) известные значения, получим для композиционных колодок

$$\frac{16,3 \cdot H}{t} (1 - e^{-0,03\sqrt{t}}) \leq 2. \quad (2)$$

Данная формула является достаточно приближенной, не учитывает режим торможения и степень использования тормозной силы. В последующих публикациях [1] проф. Иноземцев В. Г. не использовал данную формулу, а просто указывал, что по условиям время торможения не должно превышать 35 мин.

В работе [2] перегрев рекомендуется определять по следующей формуле

$$\Delta\tau_{\infty} = \frac{q_T}{\alpha_0} \left(1 - e^{-2 \frac{\alpha_0}{\sqrt{\pi \lambda \gamma c}} \sqrt{t}} \right). \quad (3)$$

Подставив соответствующие значения для композиционных колодок без рекуперационного торможения, приведенные в [2], получим

$$\Delta\tau_{\infty} = \frac{0,008b_T V}{0,004 + 0,005\sqrt{V}} \times \left(1 - e^{-3,76(0,004 + 0,005\sqrt{V})\sqrt{t}} \right), \quad (4)$$

где V – средняя скорость торможения, м/с;

b_T – удельная тормозная сила, Н/кН;

t – время торможения, с.

Для проверки колодок на перегрев выполним тяговые расчеты на самом сложном с точки зрения торможения участке Тетри-Цкаро – Чивчави – Надарбазеви при движении в обратном направлении.

Для учета множества особенностей работы тормозного оборудования при экстренном торможении на крутых спусках тормозная задача решалась с применением программы TormozPut [3] для участка Тетри-Цкаро – Цалка.

Учитывая достаточно большую крутизну спуска (до 36 ‰), композиционные колодки будут на станции Цалка включаться в груженный режим. При этом приняты достаточно же-

сткие условия, учитывающие все проблемы при применении композиционных колодок. Используется только 70 % тормозной силы, полу-

ченная скорость округлялась в меньшую сторону кратно 5 км/ч и уменьшалась еще на 15 км/ч (рис. 1).

Решение тормозной задачи

RailBrain™ Корженевич И. П. kip@brailsys.com Участок: Тетри-Цкаро - Цалка

Путь: ☐ звеньевой ☒ бесстыковой

Профиль: Tet_Ckaro-Calka.prf Направление расчета: ☐ туда ☒ обратно dv = 15

План: Tet_Ckaro-Calka.pln Макс. длина тормозного пути: 1200

Ограничения: Tet_Ckaro-Calka.ogr ☒ Учитывать тормоза локомотива Максимальная скорость, км/ч: 80

Файлы в формате программы MoveRW. Файл ограничений должен содержать все ограничения, в том числе от кривых

Длина локомотива: 66 состава: 336 Масса локомотива: 368 состава: 1800 Кол-во осей: 96 Кол-во типов тормозов вагонов: 1

	Сумма действительных нажатий на колодки, кгс	Процент использования полной силы	Действительное нажатие одной, кгс	Кол-во колодок	Тип колодок
для локомотива	<input type="button" value="ввод"/> <input checked="" type="button" value="расчет"/> 66752	70	1490	64	композит
для вагонов (1)	<input type="button" value="ввод"/> <input checked="" type="button" value="расчет"/> 322560	70	2400	192	композит
для вагонов (2)	<input type="button" value="ввод"/> <input type="button" value="расчет"/> 0	80	3800	4	чугун
для вагонов (3)	<input type="button" value="ввод"/> <input type="button" value="расчет"/> 0	80	3800	4	чугун

Основное удельн.сопротивл.движению состава (кгс/т) $wo'' = a + b \cdot V + c \cdot V^2$. a = 0,86 b = 0,0048 c = 0,0001067

☒ Снижать тормозную силу в кривых с R<800 м из-за снижения сцепления Степень учета: 25 %

Максимальный спуск под поездом -35 ‰ (км 34,594). Ограничение по работе тормозной системы отсутствует
Предельный уклон, на котором локомотив удержит состав (‰) 12,9
Действительный тормозной коэффициент 0,18. Расчетный: 0,18 или (0,24-0,495) в пересчете на чугун при V=0-80.

Количество добавленных ограничений 384

№	Середина ограничения	Длина, м	Vогр, км/ч
1	2269	50	60
2	2319	50	60
3	2369	50	55
4	2419	50	55

Километраж текущей точки: 29,494
Скорость начала экстренного торможения: 78 Vmax=57 S=52,394
Тормозной путь: 215
Время торможения, с: 30 tmax=115
Ход выполнения расчета:

Рис. 1. Основное окно программы TormozPut

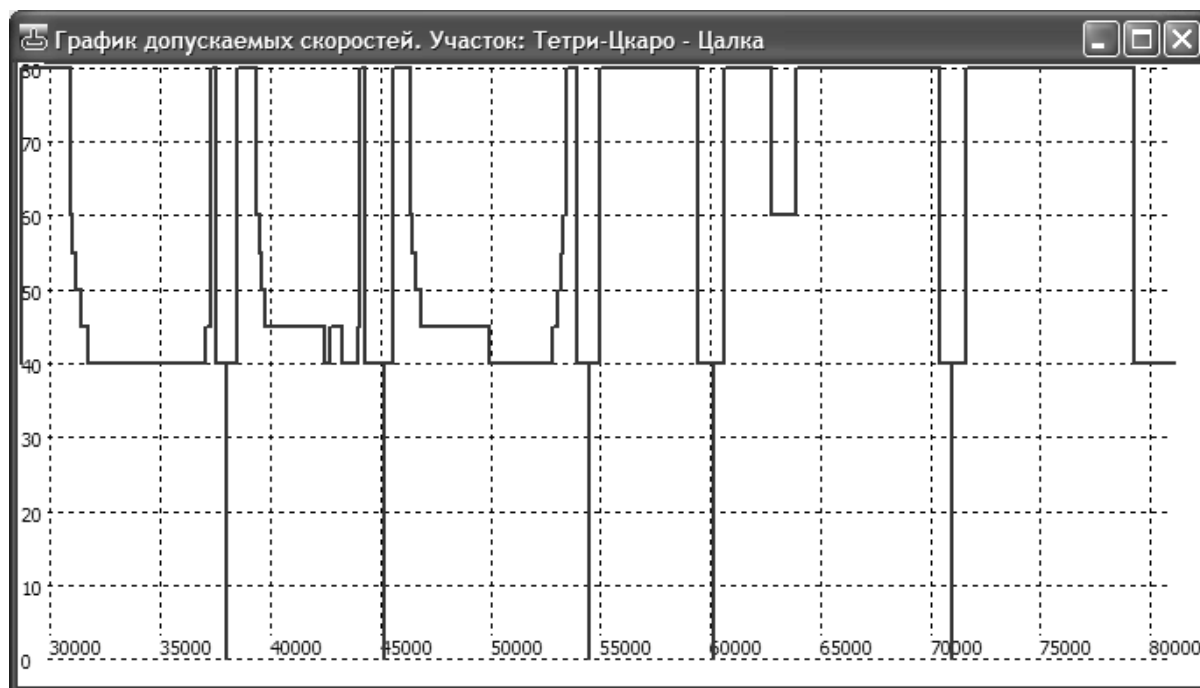


Рис. 2. Ограничения скоростей на участке

Как видим, по условиям экстренного торможения на заданном тормозном пути при композиционных колодках, включенных на груженный режим, скорость движения может устанавливаться на уровне 40 км/ч.

В результате тяговых расчетов, выполненных при данных ограничениях, установлено, что при движении от ст. Надарбазеви до разъезда Чивчави используется режим регулировочного торможения на участках 44,504-41,843 км (40 км/ч, высота 80 м, время торможения 239 с, средняя удельная тормозная сила 28,5 Н/кН) и 41,771-39,221 км (45 км/ч, высота 82 м, время торможения 204 с, средняя удельная тормозная сила 30,1 Н/кН), режим служебного торможения 39,129-38,699 км (снижение скорости с 55 до 40 км/ч, высота 13 м, время торможения 31 с, средняя удельная тормозная сила 39,0 Н/кН), режим регулировочного торможения 38,699-38,202 км (40 км/ч, высота 3 м, время торможения 30 с, средняя удельная тормозная сила 6,1 Н/кН) и служебное торможение 38,157-38,000 км (остановка на разъезде Чивчави со скорости 40 км/ч, высота 0,5 м, время торможения 25 с, средняя удельная тормозная сила 42,3 Н/кН). Таким образом, общее время торможения составило 529 с на высоте 178,5 м при средней скорости 41,5 км/ч и средней удельной тормозной силе 29 Н/кН. При расчете по формуле (2) получаем $2,74 > 2$, т.е. условие якобы не выполняется. В то же время расчет по формуле (4) показывает что нагрев колодок будет на 107 °С, что существенно меньше допустимого (400 °С) для композиционных колодок.

При движении от разъезда Чивчави до ст. Тетри-Цкаро на участке 37,851-29,749 км применяется регулировочное торможение. Средняя скорость составила 42 км/ч, высота спуска 247 м, время торможения 700 с, средняя удельная тормозная сила 29,0 Н/кН. Расчет по формуле (2) дает $3,1 > 2$, т.е. условие якобы не выполняется. Расчет по формуле (4) показывает, что нагрев колодок будет на 112 °С.

Учитывая такой разброс в результатах по формулам (2) и (4), окончательный вывод может быть сделан по результатам экспериментальных поездок. В то же время формула (4) вызывает больше доверия, так как является более «свежей» и учитывает ряд дополнительных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иноземцев, В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава. Вопросы и ответы [Текст] / В. Г. Иноземцев. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
2. Асадченко, В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава [Текст] / В. Р. Асадченко. – М.: Маршрут, 2006. – 392 с.
3. Корженевич, І. П. Вирішення гальмівної задачі в гірських умовах Грузії [Текст] / І. П. Корженевич, Б. І. Торопов // В кн. «Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження»: матеріали XII Міжн. конф. «Проблеми механіки залізничного транспорту». – Д.: ДІТ, 2008. – С. 73.

Поступила в редколлегию 19.08.2008.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ СПОСОБ СЪЕМКИ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Запропоновано новий спосіб зйомки плану залізничної колії із застосуванням електронного тахеометра.

Предложен новый способ съемки плана железнодорожного пути с применением электронного тахеометра.

The new method of survey of railway track plan is offered with the use of electronic tacheometer.

Традиционный инструментальный способ съемки (рис. 1), который называют также смешанным способом, способом Гоникберга, способом Ленгипротранса, наряду с преимущес-

вами имеет множество недостатков. В то же время многие работники желдорпроектов и гипротрансов и сегодня продолжают использовать этот способ для съемки плана.

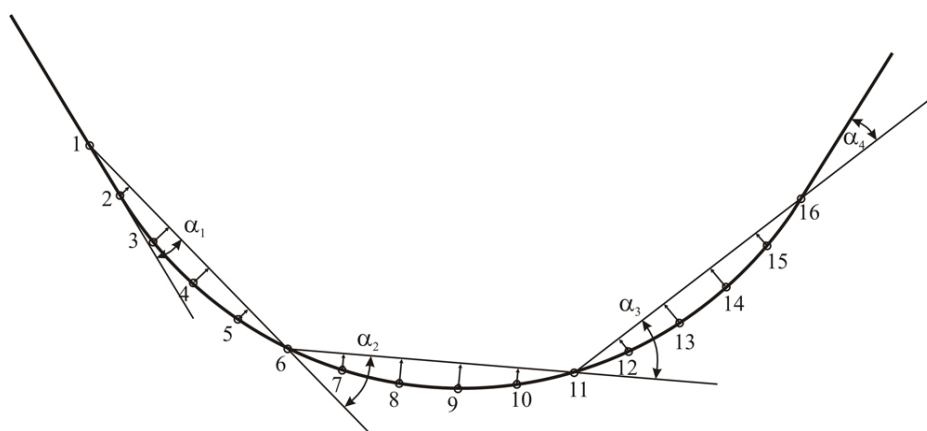


Рис. 1. Традиционный инструментальный способ съемки

Наличие сегодня у изыскателей современной геодезической техники, в частности электронных тахеометров, позволяет с одной стороны упростить процедуру съемки, а с другой – повысить ее точность. Следует отметить, что

обычная полярная съемка (рис. 2), применяемая с электронными тахеометрами, не всегда обеспечивает нужную точность. Исследования показали, что реальная точность обычной полярной съемки, как правило, не превышает ± 25 мм.

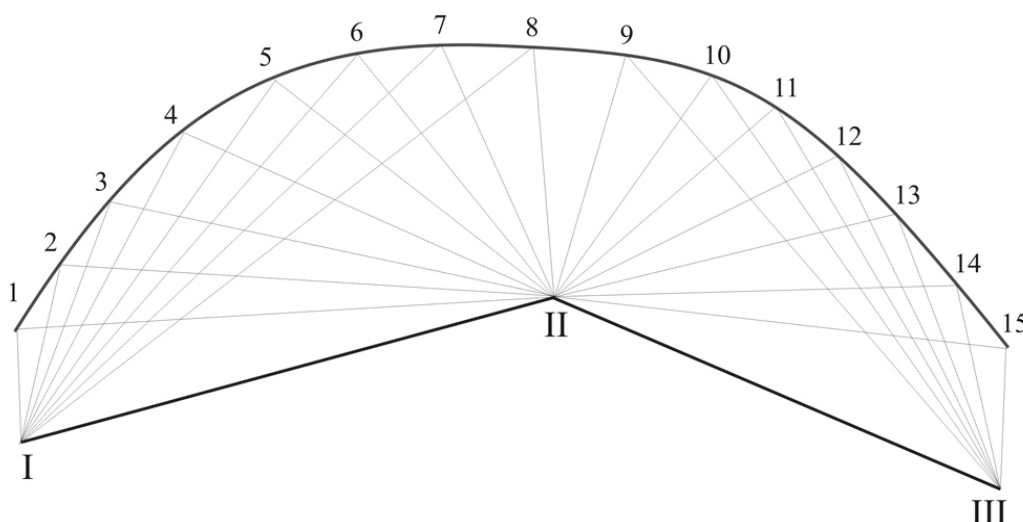


Рис. 2. Полярный способ съемки

Как известно, угловые измерения имеют более высокую точность по сравнению с линейными. Именно это позволяло способу Гоникберга конкурировать с известным способом стрел. Но способ Гоникберга был трудоемким и не обеспечивал необходимой точности съемки точек, расположенных между стоянками теодолита.

Учитывая, что современные тахеометры оснащены достаточно точными приборами измерения расстояний, явно нерациональной будет предварительная разбивка пути на точки по оси пути или по головке рельса через 20 м при помощи рулетки. Скорость и точность измерения углов тахеометрами делает также нерациональным горизонтальное нивелирование, которое в способе Гоникберга применялось для измерений промежуточных точек.

Предлагаемая схема измерений плана представлена на рис. 3. При съемке участка вначале по оси рельса создается базисный линейно-угловой ход. Он начинается заведомо на прямой. Точки хода создаются на произвольном расстоянии 50...150 м. При установке тахеометра в этих точках дальномером измеряются расстояния до соседних точек хода и левые углы между направлениями на эти точки. Для контроля и уравнивания измерений по базисному ходу он замыкается на начальную точку (пунктирная линия). Двойной промер расстояний, высокая точность угловых измерений и уравнивание обеспечивают достаточную точность определения координат точек по базисному ходу.

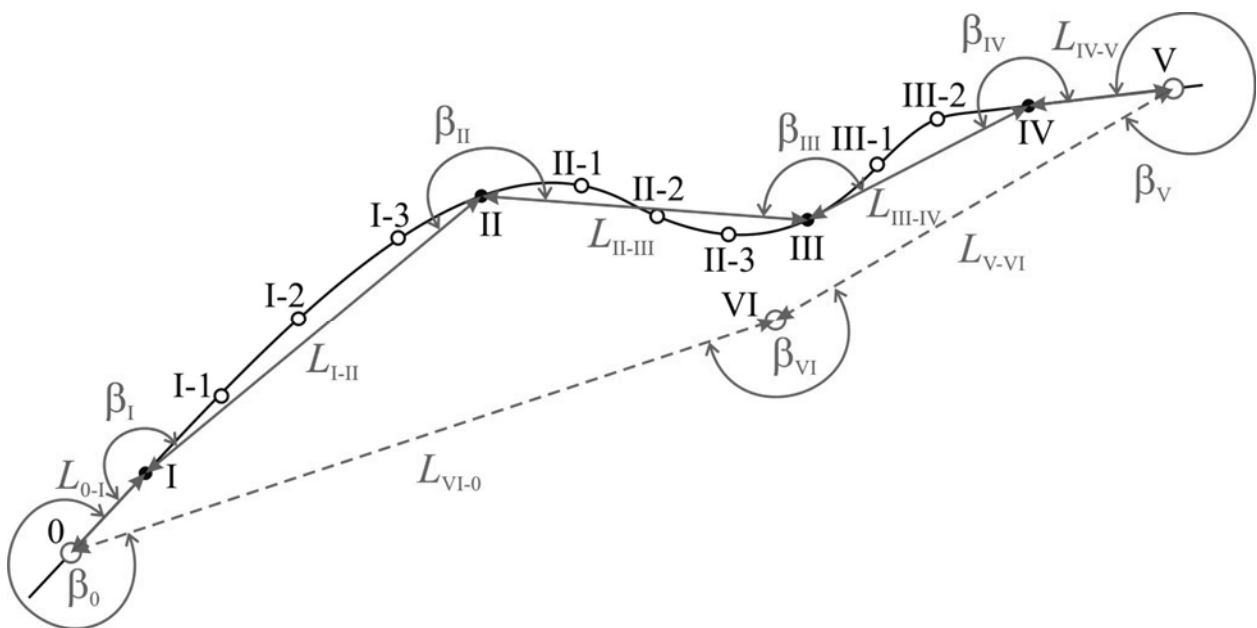


Рис. 3. Схема модифицированной инструментальной съемки

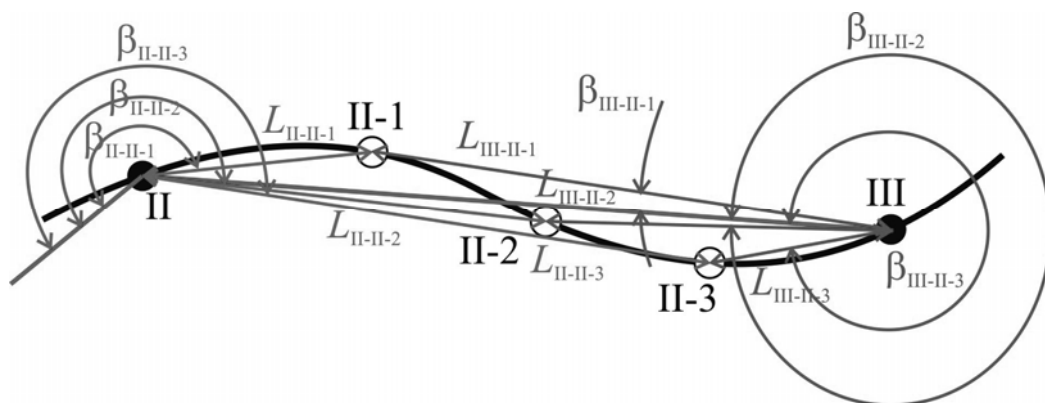


Рис. 4. Съемка промежуточных точек

При установке тахеометра в точках базисного хода также измеряются углы и расстояния до промежуточных точек (рис. 4). Каждая промежуточная точка назначается произвольно на

расстоянии 10...50 м в зависимости от кривизны участка и измеряется дважды с двух стоянок на базисном ходу, что также способствует более высокой точности измерений.

Для выполнения съемки точек могут быть изготовлены различные приспособления из штатного отражателя или отражающих пленок [2].

Исключение из процесса съемки промеров расстояний лентой и стрел при помощи горизонтального нивелирования существенно ускоряет съемку и, в то же время, повышает ее точность.

Как и при других способах съемки, рекомендуется во всех снимаемых точках измерять возвышение наружного рельса и ширину колеи. Это позволит в дальнейшем при помощи программы РВПлан [3] определять допускаемые скорости движения по существующему пути, а также сносить съемку с рельса на ось пути.

Для обработки съемки в программе РВПлан 2.1 создан специальный модуль.

При вводе данных съемки в этом модуле производится оценка точности съемки. Результаты этой оценки (угловая и линейная невязка по базисному ходу) сообщаются проектировщику, что позволяет принять решение о возможности использования материалов съемки для тех или иных расчетов.

Невязки разбрасываются последовательным способом. Вначале определяется угловая невязка. Если принять, что дирекционный угол первой прямой 0-I равен α_{0-I} (известное или условное значение, либо определенное по буссоли), то дирекционные углы последующих линий будут равны:

$$\begin{aligned}\alpha_{I-II} &= \alpha_{0-I} + \beta_I - \pi; \\ \alpha_{II-III} &= \alpha_{I-II} + \beta_{II} - \pi; \\ \alpha_{III-IV} &= \alpha_{II-III} + \beta_{III} - \pi; \\ \alpha_{IV-V} &= \alpha_{III-IV} + \beta_{IV} - \pi; \\ \alpha_{V-VI} &= \alpha_{IV-V} + \beta_V - \pi; \\ \alpha_{VI-0} &= \alpha_{V-VI} + \beta_{VI} - \pi; \\ \alpha'_{0-I} &= \alpha_{VI-0} + \beta_0 - \pi.\end{aligned}$$

Разница между дирекционными углами α_{0-I} и α'_{0-I} и будет являться угловой невязкой хода. Эта невязка разбрасывается равномерно по всем измеренным углам.

После этого вычисляются координаты точек хода. Если координаты точки 0 неизвестны, то принимаются любые условные значения. Приращения координат ΔX и ΔY от точки i до точки $i+1$ в геодезической системе координат при известном расстоянии $L_{i-(i+1)}$ и дирекционном угле $\alpha_{i-(i+1)}$ определяется по известным формулам

$$\Delta X = L_{i-(i+1)} \cdot \cos \alpha_{i-(i+1)};$$

$$\Delta Y = L_{i-(i+1)} \cdot \sin \alpha_{i-(i+1)}.$$

Вычислив последовательно координаты всех точек хода, получим в конце хода значения координат точки 0, в общем случае отличающиеся от заданных. Разность этих координат и даст невязку хода по X и Y , а отношение расстояния между исходной и рассчитанной в конце хода точкой 0 к общей длине хода даст линейную невязку.

Линейная невязка разбрасывается по приращениям координат пропорционально расстояниям между точками.

Хотя в этом модуле и предусмотрена возможность съемки плана железнодорожного пути без замыкания базисного хода и без двойного промера промежуточных точек, такую возможность использовать не рекомендуется, так как надежность измерений без контроля является достаточно низкой.

Поскольку в программе РВПлан допускается произвольное расстояние между снятыми точками, в этой программе достаточно просто могут производиться расчеты по оценке параметров плана существующего пути для целей паспортизации, а также по выправке и переустройству плана. Достаточно высокая точность съемки позволяет выполнять эти расчеты с более высоким уровнем надежности.

Средствами РВПлан данная съемка может быть преобразована в сплайновую псевдосъемку с постоянным шагом для построения паспорта кривой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич, И. П. Оценка точности и оптимизация процедур съемки железнодорожных кривых [Текст] / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник Дніпроп. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 44-49.
2. Корженевич, І. П. Методика аналізу точності знімання, розрахунків та виправлення залізничних кривих машинами різних типів. ЦП 0164 [Текст] / І. П. Корженевич, М. Г. Ренгач, В. В. Рибкін. – К.: УЗ, 2006. – 50 с.
3. Корженевич, І. П. Розширені можливості проектування перебудови плану під високі швидкості поїздів у програмі RWPlan 1.3.4 [Текст] / І. П. Корженевич // Вісник Дніпроп. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 67-77.

Поступила в редколлегию 20.08.2008.

ВПЛИВ ПРОПУЩЕНОГО ТОННАЖУ ТА ПЛАНУ ЛІНІЇ НА ВИТРАТИ ПРИ ПОТОЧНОМУ УТРИМАННІ КОЛІЇ

Наведено результати досліджень щодо зміни витрат матеріалів при поточному утриманні колії.

Изложены результаты исследований относительно изменения расходов материалов при текущем содержании пути.

The research results regarding the change to expenses of materials for the current rail track maintenance are presented.

В умовах інтеграції залізниць України в європейську транспортну систему до стану залізничної колії пред'являються принципово жорсткі вимоги. В цій ситуації важливе не лише якісне виконання ремонтів колії, але й забезпечення якісного поточного утримання колії. Останнє передбачає своєчасне виконання колійних робіт для запобігання виникнення несправностей у колії. При цьому витрати матеріалів нормуються «Середніми нормами витрат...» [1]. У цьому нормативному документі норми витрат матеріалів колійного господарства представлені в залежності від конструкції верхньої будови колії. Але сьогодні на залізницях України експлуатується чимала кількість ділянок з простроченими капітальним ремонтом та модернізацією колії: за технічним станом на початок 2008 року загальна протяжність таких ділянок склала 4000 км. Звісно, що в таких умовах витрати на поточне утримання колії значно зростають. Тому виникає питання: як фактично змінюються витрати на матеріали при поточному утриманні на ділянках з пропущеним тоннажем, значення якого перевищує нормативне, що встановлене Положенням [2].

В умовах Придніпровської залізниці були встановлені ділянки з простроченою модернізацією колії. Виявилося, що на ділянках з простроченими ремонтами витрати на матеріали залежать від пропущеного тоннажу та характеристик плану лінії.

У даній роботі усі дослідні ділянки за протяжністю кривих (радіусом до 1000 м) було поділено на категорії: з часткою кривих 0...15 % та 16...30 % від загальної довжини. Дані щодо понаднормативного пропущеного тоннажу коливались у межах 801...900 млн т. Станом на 01.01.2008 р. на Придніпровській залізниці витрати на поточне утримання 1 км залізничної колії за рік (залізобетонні шпали, безстикова

колія) складають 37 089 грн, з яких 5 768 – це витрати на матеріали колійного господарства. Проаналізовані статистичні дані свідчать про те, що при зміні значень пропущеного тоннажу та різній протяжності залізничних кривих ці цифри значно зростають.

У даній статті відображено результати, що отримані для безстикової колії на залізобетонних шпалах. Для визначення витрат на матеріали у будь-яких умовах з дослідного діапазону даних за методом найменших квадратів встановлено аналітичну залежність, яка дозволяє визначати витрати в залежності від значень пропущеного тоннажу та протяжності кривих для ділянок безстикової колії на залізобетонних шпалах. Дана залежність має такий вигляд:

$$E_{\text{пу}} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot K^2, \quad (1)$$

де $E_{\text{пу}}$ – витрати на матеріали при поточному утриманні залізничної колії, грн/км за рік;

T – пропущений тоннаж, млн т;

K – протяжність кривих ділянок колії радіусом до 1000 м, %;

a_0, a_1, a_2 – сталі величини, значення яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти до побудованої моделі	
Коефіцієнт	Значення
a_0	-111070
a_1	156
a_2	1,7

На рис. 1 показано залежність між витратами на матеріали при поточному утриманні колії та пропущеним тоннажем і планом лінії. Дані,

за якими побудовано наведену залежність, отримані за моделлю. З рис. 1 видно, що при значенні пропущеного тоннажу вище за нормативний витрати на поточне утримання зростають у 3...6 разів. Так, наприклад, якщо експлуатується ділянка з пропущеним тоннажем 810 млн т, то витрати на матеріали при поточному утриманні колії складають понад 15 тис. грн лише на прямих ділянках колії. Якщо ж мова йде про ділянки з наявними кривими

радіусом до 1000 м, то це зумовлює додаткове зростання витрат. Якісна картина представлена у табл. 2. Дані цієї таблиці вказують на те, що план лінії також впливає на витрати на матеріали: так, при порівнянні прямих ділянок та ділянок, на яких криві складають 15 %, виявилось, що витрати для останніх зростають на 1,3...2,4 %. А якщо порівнювати ділянки з 15 % кривих та 30 % кривих, то таке зростання складе 3,7...6,8 %.

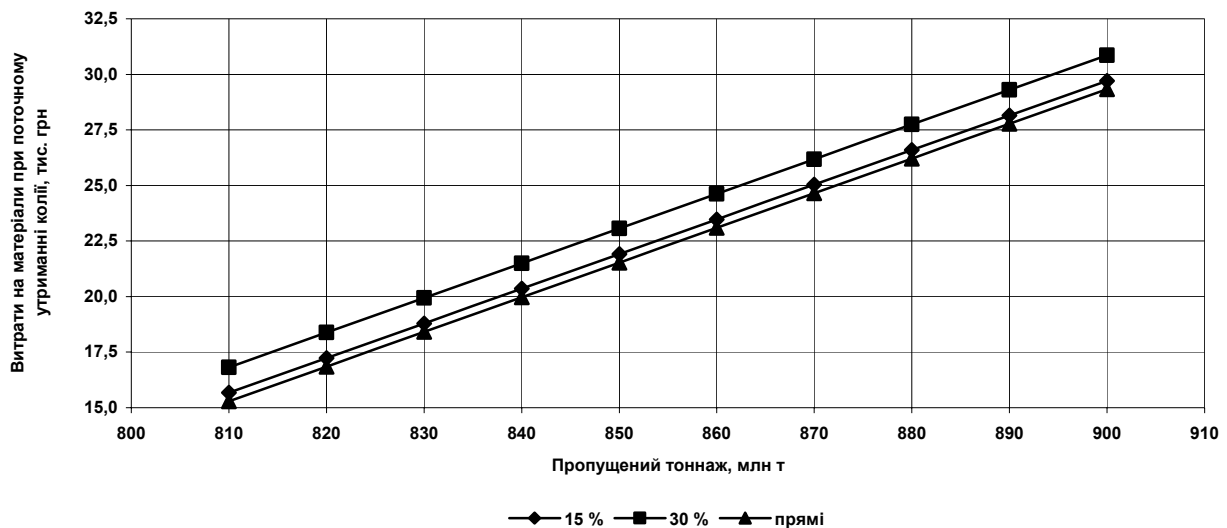


Рис. 1. Залежність витрат на матеріали при поточному утриманні від пропущеного тоннажу та плану лінії

Таблиця 2

Витрати на матеріали при поточному утриманні колії, отримані за моделлю

Пропущений тоннаж, млн т	Витрати в залежності від плану лінії, тис. грн			Зростання витрат в залежності від плану лінії, %	
	прямі	15 % кривих	30 % кривих	15 % кривих відносно прямих	30 % кривих відносно 15 % кривих
810	15,290	15,673	16,820	2,4	6,8
820	16,850	17,233	18,380	2,2	6,2
830	18,410	18,793	19,940	2,0	5,8
840	19,970	20,353	21,500	1,9	5,3
850	21,530	21,913	23,060	1,7	5,0
860	23,090	23,473	24,620	1,6	4,7
870	24,650	25,033	26,180	1,5	4,4
880	26,210	26,593	27,740	1,4	4,1
890	27,770	28,153	29,300	1,4	3,9
900	29,330	29,713	30,860	1,3	3,7

Було перевірено адекватність отриманої моделі. Коефіцієнт детермінації дорівнює $R^2 = 0,997$, що свідчить про достатню точ-

ність побудованої моделі. Також оцінено відхилення вихідних даних від даних, що отримані за моделлю: максимальне відхилення складає 6,8 %, а середнє відхилення – всього 1,9 %.

На рис. 2 наведено графік нормального розподілення очікуваних ймовірностей залишків.

Розподілення залишків (див. рис. 2) набли-

жається до нормального, що також свідчить про достатню адекватність моделі та можливість її використання [3–4].

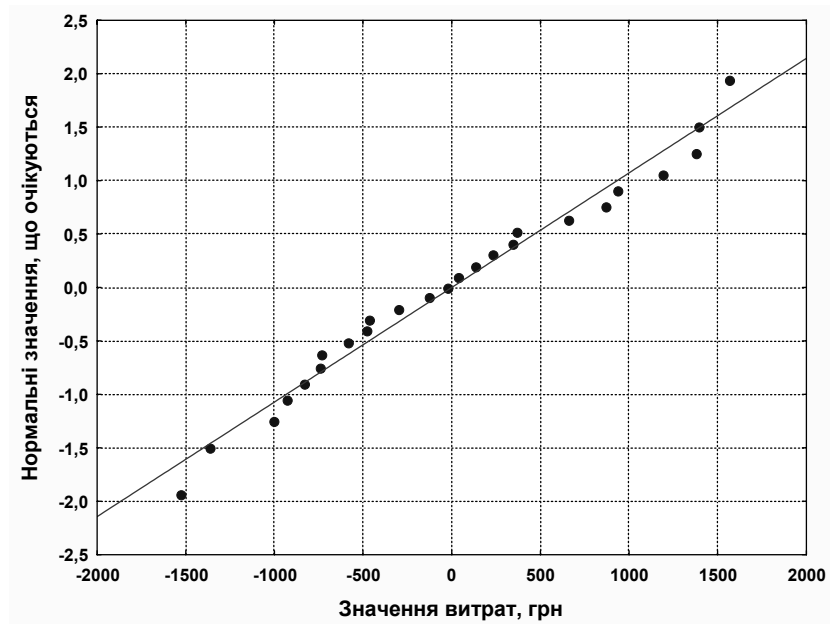


Рис. 2. Розподілення залишків

Таким чином, користуючись отриманою аналітичною залежністю, в умовах, ідентичних дослідним, можна прогнозувати витрати на матеріали при поточному утриманні залізничної колії на ділянках з пропущеним тоннажем, значення якого перевищує нормативне. Отримані результати дослідження дозволять також встановлювати норми витрат матеріалів на ділянках з понаднормативним значенням пропущеного тоннажу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Середні норми витрат матеріалів і виробів на поточне утримання та ремонт колії й інших пристроїв колійного господарства залізниць

України [Текст]. ЦП-0123 від 14.12.2004, № 964-ЦЗ. – К., 2005. – 43 с.

2. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]. ЦП-0113 від 10.08.2004, № 630-ЦЗ. – К., 2004. – С. 11-19.
3. Наконечний, С. І. Економетрія [Текст]: підручник / С. І. Наконечний, Т. О. Терещенко, Т. П. Романюк. – К.: КНЕУ, 2000. – 296 с.
4. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст]. В 2-х т. – Т. 1 / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2008.

ВКЛАДАННЯ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ НА ОЗДОРОВЛЕНОМУ ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНІ

Розроблено методику визначення можливості укладання безстикової колії на оздоровленому земляному полотні. Введено такі критерії стабілізації земляного полотна як показник стабілізації та коефіцієнт стабілізації.

Разработана методика определения возможности укладки бесстыкового пути на вылеченном земляном полотне. Введены такие критерии стабилизации земляного полотна как показатель стабилизации и коэффициент стабилизации.

The article presents a method of determination of possibility of laying of long welded track on the repaired ground bed. Such criteria of the ground bed stabilization as stability parameter and stability coefficient are introduced.

Згідно п. 2.2.1 Технічних вказівок по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України ЦП/0081 [1], на стадії проектування безстикової колії земляне полотно повинно бути обстежене, виявлені нестійкі місця усунені і воно повинно відповідати вимогам Інструкції з утримання земляного полотна залізниць України ЦП/0072, а згідно п. 3.1.1 ЦП/0081 [1], укладання безстикової колії дозволяється при будівництві нових ліній тільки після стабілізації земляного полотна.

За відсутності критеріїв стабілізації земляного полотна були розроблені показник стабілізації та коефіцієнт стабілізації, що дозволяють зробити оцінку щодо можливості укладання безстикової колії на ділянках з оздоровленим земляним полотном, на якому раніше спостерігалася деформація.

Стадія стабілізації представляє собою процес затухання деформацій. Наперед невідомо, коли деформації повністю зупиняться, але зрозуміло, що є такий момент даного процесу, починаючи від якого сумарна деформація до повного її затухання буде незначною або допустимою з точки зору безпеки руху поїздів.

Земляне полотно, що піддавалося лікуванню, потребує спостереження за процесом стабілізації. При цьому головною задачею є вимірювання окремо вертикальної та окремо горизонтальної деформацій. Для здійснення цього на ділянці залізничної колії, що пройшла лікування, вздовж бровки земляного полотна необхідно виконати розбивку точок спостереження. Точками спостереження можуть бути тільки такі точки, що не можуть зміщуватися окремо від земляного полотна, а лише разом з ним. Кількість точок спостереження та відстані між

точками залежать від конкретних умов. Рекомендується точки спостереження по довжині ділянки колії розміщувати рівномірно. Для того щоб впевнитись, що під контроль взята вся нестабільна ділянка, необхідно встановити по кінцям дослідної ділянки на здоровому земляному полотні по декілька точок (не менше двох). Їх незмінне положення буде інформувати про стабільну роботу об'єкта.

Спостереження за просторовим положенням точок ведуть за допомогою теодолітної та нівелірної зйомок. При цьому повинні використовуватися такі прилади, щоб абсолютна похибка не перевищувала ± 2 мм.

Огляд об'єкту спостереження здійснюється з певним періодом T . Мета огляду – визначення окремо горизонтальної та вертикальної деформації d , як зміни положення фіксованої точки.

Деформація d за певний i -й період, визначається за формулою:

$$d_i = x_i - x_{i-1} \quad (1)$$

де x_i – положення точки в кінці i -го періоду; x_{i-1} – положення точки в кінці попереднього, тобто $(i-1)$ -го періоду.

Введемо критерій, що характеризує процес стабілізації, – показник стабілізації. Показник стабілізації визначається за формулою:

$$\eta = \frac{d_{i+1}}{d_i}, \quad (2)$$

де d_i – деформація земляного полотна при i -му вимірюванні; d_{i+1} – деформація земляного полотна при $(i+1)$ -му вимірюванні.

Показник стабілізації – це відношення будь-якої деформації за період T до попередньої деформації за такий же період. Якщо $\eta \geq 1$, то де-

формації розвиваються і збільшуються. Вкладання безстикової колії забороняється. Якщо $\eta < 1$, то необхідно визначити наступний критерій.

Введемо критерій, що характеризує роботу об'єкта в недостатньо стійкому стані, і оцінює близькість стабілізації. Цей показник назовемо коефіцієнтом стабілізації K_s .

Коефіцієнт стабілізації визначається за формулою:

$$K_s = \frac{[d]}{d_{нов}} \quad (3)$$

де $[d]$ – допустиме значення деформації земляного полотна; $d_{нов}$ – повна деформація земляного полотна, як деформація від початку спостережень до повного затухання процесу.

На рис. 1 зображено графік залежності положення фіксованої точки (поточна координата x) від пропущеного тоннажу t .

Коефіцієнт стабілізації – це відношення допустимої деформації до повної. Якщо $K_s > 1$, деформації затухають, і до моменту повного їх припинення накоплена величина буде меншою за допустиму. Можна вкладати безстикову колію. Безпека руху поїздів забезпечується.

Якщо $K_s \leq 1$, деформації затухають, але до моменту повного їх припинення накоплена величина буде більшою за допустиму. Тому вкладати безстикову колію можна, але середній ремонт потрібно буде провести не пізніше за $[\tau]$, тобто не пізніше за відрізок часу від початку спостережень до моменту, коли накоплені і допустимі деформації стануть рівними.

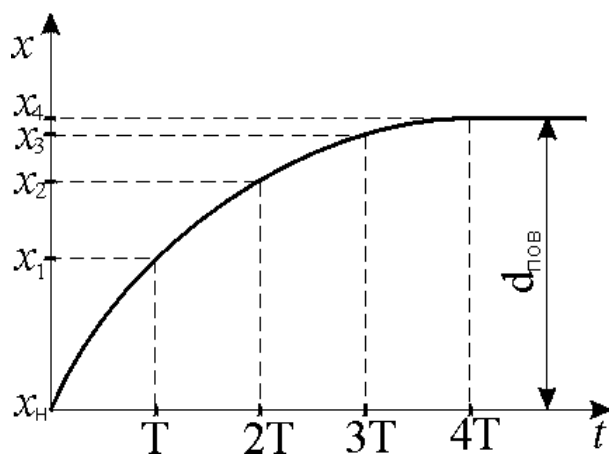


Рис. 1. Графік залежності переміщення фіксованої точки від пропущеного тоннажу

Період $[\tau]$ визначається за формулою:

$$[\tau] = \frac{T \cdot \ln \left(\frac{[d](\eta - 1)}{d_1} + 1 \right)}{\ln \eta} \quad (4)$$

Повна деформація визначиться як різниця кінцевого та початкового положення фіксованої точки:

$$d_{нов} = x_k - x_n \quad (5)$$

Початкове положення фіксованої точки x_n відоме, оскільки з його визначення починається спостереження. Кінцеве положення фіксованої точки x_k необхідно спрогнозувати по результатах декількох спостережень.

Деформація земляного полотна, що стабілізується, – це наслідок ущільнення ґрунту.

Із суджень, аналогічних судженню про компресійну криву [2], впливає наступна залежність:

$$x_k = x_n + k_x(x_1 - x_k) \quad (6)$$

де x_k – кінцеве положення фіксованої точки; x_n – початкове положення фіксованої точки; x_1 – положення фіксованої точки, визначене в першому спостереженні; k_x – коефіцієнт, що представляє собою суму збіжного ряду:

$$k_x = 1 + \eta + \eta^2 + \eta^3 + \dots = \frac{1}{1 - \eta} \quad (7)$$

З врахуванням формул (1) та (6) формула (5) приймає вид:

$$d_{нов} = d_1 k_x \quad (8)$$

Формулу (8) з врахуванням (7) та (2) можна зобразити в загальному вигляді:

$$d_{нов} = d_1 \frac{d_{i+1}}{d_{i+1} - d_{i+2}} \quad (9)$$

де d_1 – перша виміряна деформація; d_{i+1} та d_{i+2} – будь-які дві підряд виміряні деформації.

Таким чином, повну деформацію можна визначити по першій та будь-яких двох підряд виміряних деформаціях.

Допустима горизонтальна деформація земляного полотна $[d]$ визначається як різниця критичної горизонтальної нерівності в колії $C_{\delta k}$ та ймовірної нерівності, що виникає від впливу рухомого складу та під час вкладання колії C_i , тобто

$$[d] = C_{\delta k} - C_i \quad (10)$$

Для врахування найгіршого положення в якості C_i рекомендується приймати найбільшу за амплітудою горизонтальну нерівність за даними останнього проходження колієвимірювального вагону перед початком спостережень за стабілізацією земляного полотна. Для цього необхідно взяти найбільший ступінь відступу

по положенню рейкових ниток у плані і по табл. 1, та встановити C_i .

Таблиця 1

Відповідність ступеня відступу певній максимальній горизонтальній нерівності

Ступінь відступу	I	II	III	IV	V	Va
Максимальна амплітуда нерівності, C_i , мм	10	18	25	35	65	90

Критична горизонтальна нерівність визначається за формулою:

$$C_{\text{ок}} = \frac{A}{N_{\text{max}}^C} + B \quad (11)$$

де N_{max} – максимальна поздовжня сила, кН; A , B , C – параметри, що залежать від радіуса кривої (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри апроксимації

	A	B	C
$R \rightarrow \infty$	$3,215 \cdot 10^9$	-0,0001	3,616
$R = 1000$	$2,933 \cdot 10^{11}$	-0,0004	4,306
$R = 800$	$7,540 \cdot 10^{11}$	-0,0006	4,454
$R = 600$	$2,287 \cdot 10^{13}$	-0,001	4,965
$R = 350$	$2,025 \cdot 10^{14}$	-0,006	5,325
$R = 300$	$4,882 \cdot 10^{15}$	-0,01	5,807

Максимальне значення поздовжньої сили, що може виникнути в певній рейковій пліті, визначається за формулою:

$$N_{\text{max}} = EF\alpha[t_{\text{max max}} - t_3] \quad (12)$$

де E – модуль пружності, що складає $2,1 \cdot 10^4$ кН/см²; F – площа поперечного перетину рейки, при Р65 $F=85,65$ см²; α – коефіцієнт температурного подовження ($\alpha=11,8 \cdot 10^{-6}$ 1/°C); t_3 – температура закріплення рейкової пліті; $t_{\text{max max}}$ – максимальна температура рейки, що обумовлюється географічним розташуванням місцевості, в якій вона укладена, приймається з ЦП/0081 (додаток 2).

Допустима вертикальна деформація земляного полотна $[d]$ визначиться як різниця амплітуд вертикальної критичної нерівності в колії $f_{\text{кр}}$ та ймовірної вертикальної нерівності, що

виникає від впливу рухомого складу та якості вкладання колії C_i^V , тобто

$$[d] = f_{\text{кр}} - C_i^V \quad (13)$$

В якості амплітуди імовірної максимальної вертикальної нерівності C_i^V необхідно приймати осідання рейкової нитки по максимальному ступені відступу останнього проходження колієвимірального вагону (табл. 3).

Таблиця 3

Відповідність ступеня відступу певній максимальній вертикальній нерівності

Ступінь відступу	I	II	III	IV	V	Va
Максимальна амплітуда нерівності, C_i^V , мм	10	15	20	25	35	45

Критична вертикальна нерівність $f_{\text{кр}}$ [м] визначається за формулою:

$$f_{\text{кр}} = \frac{4EI_y \tau^*}{\pi N_{\text{max}}^2} \quad (14)$$

де E – модуль пружності, що складає $2,1 \cdot 10^4$ кН/см²; I_y – момент інерції поперечного перетину рейки відносно горизонтальної осі, для Р65 $I_y=3540$ см⁴; N_{max} – максимальна поздовжня сила, кН; τ^* – вага рейки, скріплення та шпал, що припадає на 1 погонний метр рейкової нитки, для КБ-65 при епюрі 1840 шт/км 3,23 кН/м, при 1680 – 3,0 кН/м; для КПП-5 при епюрі 1840 шт/км 3,15 кН/м, при 1680 – 2,94 кН/м.

Отже, представлена методика з використанням нових критеріїв стабілізації, таких як показник стабілізації та коефіцієнт стабілізації, дає змогу прийняти обґрунтоване рішення щодо можливості укладання безстикової колії на ділянці з оздоровленим земляним полотном.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України: ЦП/0081 [Текст]: Затверджено наказом Укрзалізниці від 25 січня 2002 р. – К., 2002. – 106 с.
2. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г. М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

В. В. РИБКІН, В. В. ЦИГАНЕНКО, О. В. ГУБАР (ДІПТ), Н. В. ХАЛІПОВА (Академія митної служби України, Дніпропетровськ)

АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ РОЗСЛІДУВАННЯ СХОДІВ РУХОМОГО СКЛАДУ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 м

В даній статті наведені результати аналізу сходів рухомого складу в кривих ділянках колії, що мали місце на залізницях України. Досліджено розподіл сходів за факторами впливу, такими як: радіус кривої, швидкість руху рухомого складу, тип рухомого складу, що зійшов, та причини сходів. Також проведено аналіз стану колії в кривих ділянках за даними вагонів-колієвимірників.

В данной статье приведены результаты анализа сходов подвижного состава в кривых участках пути, которые имели место на железных дорогах Украины. Исследовано распределение сходов по факторам воздействия, таким как: радиус кривой, скорость движения подвижного состава, тип подвижного состава, который сошел, и причины схода. Также проведен анализ состояния пути в кривых участках по данным вагонно-путеизмерителей.

The results of analysis of the rolling stock derailment in curve track sections, which took place on Ukrainian railways, are presented. The distribution of derailments under influence factors such as: the curve radius, the rolling stock speed, the type of a rolling stock derailed, and the derailment causes has been investigated. Also the analysis of track condition in curve sections according to the data of track measuring cars has been carried out.

Вступ

На залізницях України щороку трапляються сходи з рейок рухомого складу, значна частина яких відбувається у кривих ділянках колії.

При розслідуванні таких подій виявляється відхилення III-IV ступеня від встановлених норм утримання колії, які визначаються основними або супутніми причинами сходів. Зважаючи на те, що допустимі швидкості руху при відступах III-IV ступенів у розслідуваних випадках, як правило, не були перевищені, виникає потреба більш детального дослідження взаємодії рухомого складу і колії в кривих радіусом менше 350 м. Метою цього дослідження є визначення зв'язку між параметрами будови колії в крутих кривих, швидкістю і показниками безпеки руху.

Матеріали розслідування сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом менше 350 м

Кафедрою «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна були проаналізовані сходи, що мали місце на залізницях України, починаючи з 1994 року. Було зібрано матеріали розслідувань сходів рухомого складу з шести залізниць: Донецької, Львівської, Одеської, Південної, Південно-Західної та Придніпровської залізниць. Разом 78 сходів.

З матеріалів розслідування сходів рухомого складу були вибрані дані стосовно радіусу та

підвищення зовнішньої рейки ділянки колії, на якій мав місце схід, встановленої швидкості на дільниці руху та швидкості рухомого складу у момент сходу, виду рухомого складу, що зійшов, та причини сходу.

До аналізу не бралися сходи, що були викликані помилками працівників залізниць, випадкові технічні відмови – злами деталей і т.п.

З відібраних до аналізу випадків у 12 причиною сходів є недоліки у рухомому складі, порушення у розміщенні і кріпленні вантажів, завантаження вагонів більше норми і перевищення швидкостей руху. Ці випадки сходів не аналізувалися в рамках даного дослідження.

Розподіл сходів рухомого складу за факторами впливу

Розподіл сходів рухомого складу по залізницях наведено в табл. 1.

Більшість сходів сталося на Південно-Західній та Львівській залізницях, відповідно 29 і 25 сходів.

На залізницях України значна частина сходів рухомого складу з рейок має місце в кривих різного радіуса.

В першу чергу, слід відзначити, що переважна більшість сходів рухомого складу сталася в кривих радіусом менше 200 метрів – 35 випадків або 45 % від загальної кількості сходів. Загальна картина розподілу наведена у табл. 2.

Пояснення такого розподілу сходів в кривих слід шукати в аналізі показників взаємодії рухомого складу і колії в кривих і стану колії за

даними вагонів-колієвимірювачів і натурних обстежень кривих ділянок різного радіуса.

Сходи рухомого складу в кривих в переважній більшості випадків сталися при невисоких швидкостях руху (див. табл. 3).

Таблиця 1

Розподіл сходів по залізницях

Залізниця	Кількість випадків
Донецька	3
Львівська	25
Одеська	9
Південна	8
Південно-Західна	29
Придніпровська	4

Таблиця 2

Розподіл сходів в залежності від радіусу кривих

Радіус кривих	Кількість випадків	Відсоток від загальної кількості
до 200 м	35	45 %
від 201 до 350 м	26	33 %
від 351 до 650 м	8	10 %
від 651 м і вище	6	8 %

Таблиця 3

Розподіл сходів в залежності від швидкості руху

Швидкість руху	Кількість випадків	Відсоток від загальної кількості
до 20 км/год	56	77 %
від 21 до 40 км/год	9	12 %
від 41 км/год. і вище	5	6 %

За таких низьких швидкостей руху динамічні ефекти у вигляді додаткових сил від коливань рухомого складу, що виникають при проходженні нерівності колії, не можуть бути основними чинниками у сходах рухомого складу з рейок. Тут слід враховувати змінний режим руху, поштовхи при маневрах, які викликають додаткові поздовжні і поперечні сили, перекоси візків у плані і перерозподіл вертикального навантаження на рейку від коліс рухомого складу.

Та обставина, що 77 % сходів сталося при швидкості до 20 км/год, пояснюються тим, що вони мали місце, в основному, на станціях при проведенні маневрів і менша частина - на перегонах.

Сходи в кривих мали місце з різними типами локомотивів і вагонів. Вони наведені в табл. 4.

Тут розглядаються лише сходи, що пов'язані з недоліками в колійному господарстві. В семи випадках причиною сходів названо знос і викришування гостряків, порушення норм утримання стрілочних переводів за шириною колії, ординатами перевідної кривої, відбоями рейкової нитки. Сходи, що сталися в межах перевідної кривої стрілочних переводів, розглядаються нами як сходи в кривих відповідного радіуса, інші сходи не розглядалися.

Сходи в кривих ділянках колії в матеріалах чинами, наведеними у табл. 5.
розслідування пояснюються наступними при-

Таблиця 4

Розподіл сходів за типами скіпажів

Тип рухомого складу	Кількість випадків
Локомотиви: разом	40
у тому числі ЧМЕЗ	22
М62	1
2М62	5
ВЛ80	7
ВЛ11	2
ВЛ60	1
ЄР2	1
ЧС4	1
Крани: разом	3
Вагони: разом	30

Таблиця 5

Розподіл сходів в залежності від причин

Причина сходу за матеріалами розслідувань	Кількість випадків
звуження колії	2
розширення колії	3
кути в плані (велика різниця стріл вигину в сусідніх точках)	8
порушення відводу рівня	11
перекося	5
відступи від норм утримання перевідної кривої на стрілочних переводах	6
сукупність порушення норм утримання колії	5
незадовільне утримання колії	1
невписування рухомого складу в криві радіусом від 78 до 200 м	7
неправильне встановлення підвищення зовнішньої рейки в кривих	5
кущова непридатність шпал	3

З цього переліку видно, що основними причинами сходів найчастіше вважається порушення норм по крутизні відводів підвищення рейок в кривих, велика різниця стріл вигину в суміжних точках, неправильне встановлення підвищення зовнішньої рейки в кривих. В багатьох випадках сходів у колії зафіксовані відхилення одночасно за кількома параметрами. Найчастіше сходи відбувалися шляхом перекошування гребеня колеса через головку рейки.

Аналізуючи дані, слід звернути увагу на невідповідність між радіусами кривих, підвищеннями зовнішньої рейки і встановленою швидкістю руху. Так, на Львівській залізниці в кривих радіусом 200 м встановлена швидкість 15 км/год. при підвищенні зовнішньої рейки 50 і 60 мм, 40 км/год. при підвищенні 40 мм і 25 км/год. при підвищенні 0 мм. При цьому непогашені поперечні прискорення можуть бути від $-0,29 \text{ м/с}^2$ до $+0,37 \text{ м/с}^2$. Фактичні швидкості

руху були приблизно в 2 рази менше встановленої. Подібні невідповідності мають місце і на інших залізницях.

Разом з тим викликає заперечення, коли причиною сходу називається швидкість руху менше встановленої, наприклад, 12 км/год. при встановленій швидкості 25 км/год., або перевищення швидкості руху 5 км/год. при встановленій – 3 км/год.

Викликає заперечення і твердження, що причиною сходу вагона на Південній залізниці є недостатнє підвищення зовнішньої рейки в кривій радіусом 200 м при швидкості 4 км/год. Доречи, на стрілочних переводах марки 1/9 радіус кривої 200 м, підвищення 0 мм і допустима швидкість становить 40 км/год.

Сумнівними причинами сходів є кути в плані, перекоси і відступи за рівнем III ступеня при швидкості руху до 25 км/год., бо за нормами [1] на ділянках з такими відступами дозволяється рух із значно більшими швидкостями, і ряд інших.

Відсутність викладених у матеріалах службового розслідування аргументації і розкриття механізмів впливу недоліків у стані колії і рухомого складу на його рух і сходи з рейок справляють враження незакінченості розсліду-

вання. Виконана тільки початкова стадія розслідування – зафіксовано стан колії і рухомого складу. Подальшим кроком повинен бути аналіз з розрахунками, що показали б, у який спосіб недоліки приводять до появи сил, здатних підняти колесо вище головки рейки і перемістити його в сторону.

Такого аналізу, на жаль, не проводиться.

Аналіз стану колії в кривих ділянках за даними вагонів-колієвимірювачів

Проведено аналіз стану 114 кривих радіусом менше 350 м за даними вагонів-колієвимірювачів і вибіркове натурне обстеження окремих кривих. Серед них радіусом до 179 м – 9 кривих, від 180 м до 199 м – 3 кривих, від 200 м до 299 м – 80 кривих, від 300 м до 350 м – 22 криві.

Виділені основні відхилення в стані кривих III – IV ступенів [1] за рівнем, напрямом у плані рейкової нитки, шириною колії та осіданням рейкової нитки.

В результаті аналізу відхилення в стані кривих III – IV ступенів за рівнем можливо привести розподіл відступів в утриманні рівня на 1 км колії в кривих ділянках (табл. 6).

Таблиця 6

Розподіл відхилення в стані кривих III – IV ступенів за рівнем на 1 км

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Разом відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	5.7	4.2	3.1
від 180 м до 199 м	3	845	8.3	3.6	1.2
від 200 м до 299 м	80	24169	6.3	2.9	1.5
від 300 м до 350 м	22	5943	6.4	2.0	0.7

З табл. 6 видно, що при зменшенні радіусу кривих кількість відступів за рівнем IV та V ступенів збільшується.

За даними відхилення в стані кривих III – IV

ступенів за напрямом у плані розробляється розподіл відступів в утриманні колії за напрямом у плані на 1 км колії в кривих ділянках, що наведений у табл. 7.

Таблиця 7

Розподіл відхилення у стані утримання кривих III – IV ступенів за напрямом у плані на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Разом відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	8.3	8.3	6.8
від 180 м до 199 м	3	845	4.7	5.9	1.2
від 200 м до 299 м	80	24169	6.3	5.8	2.4
від 300 м до 350 м	22	5943	8.7	5.4	0.8

З табл. 7 видно, що при зменшенні радіусу кількість відступів за напрямом у плані IV і V ступенів збільшується.

З відхилення в стані кривих III – IV ступенів за шириною колії отримуємо розподіл відступів в утриманні колії за шаблоном на 1 км колії в кривих ділянках (табл. 8).

Таблиця 8

Розподіл відхилення у стані утримання кривих III – IV ступенів за шаблоном на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Разом відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	0.5	0.5	0.5
від 180 м до 199 м	3	845	4.7	0.0	0.0
від 200 м до 299 м	80	24169	0.9	0.7	1.0
від 300 м до 350 м	22	5943	2.4	1.0	1.3

З табл. 8 видно, що кількість відступів за шаблоном III ступеню найбільша в кривих ділянках колії з радіусом від 180 до 199 м.

З відхилення в стані кривих III – IV ступенів по осіданнях рейкової нитки отримуємо розподіл відступів в утриманні колії по осіданню рейкової нитки на 1 км колії в кривих ділянках (табл. 9).

Таблиця 9

Розподіл відхилення у стані утримання кривих III – IV ступенів по осіданню рейкової нитки на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Разом відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	3.1	0.0	0.0
від 180 м до 199 м	3	845	1.2	0.0	0.0
від 200 м до 299 м	80	24169	2.7	0.2	0.0
від 300 м до 350 м	22	5943	2.2	0.2	0.0

З табл. 9 видно, що кількість відступів по осіданню III ступеню найбільша в кривих ділянках колії з радіусом до 180 м., а кількість відступів IV і V ступенів – незначна в загальному порівнянні.

Загальна картина розподілу відступів III – V ступенів на 1 км в залежності від радіусу кривих наведена у табл. 10 та рис 1.

Висновки

Проаналізовані дані показують, що основна частина сходів має місце на станціях в кривих малого радіусу при виконанні маневрових робіт. В більшості випадків сходили з рейок локомотиви з тривісними візками.

Таблиця 10

Розподіл відхилення в кривих ділянках III – IV ступенів за нормами утримання на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Разом відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	17.7	13.0	10.4
від 180 м до 199 м	3	845	18.9	9.5	2.4
від 200 м до 299 м	80	24169	16.2	9.7	5.0
від 300 м до 350 м	22	5943	19.7	8.6	2.9

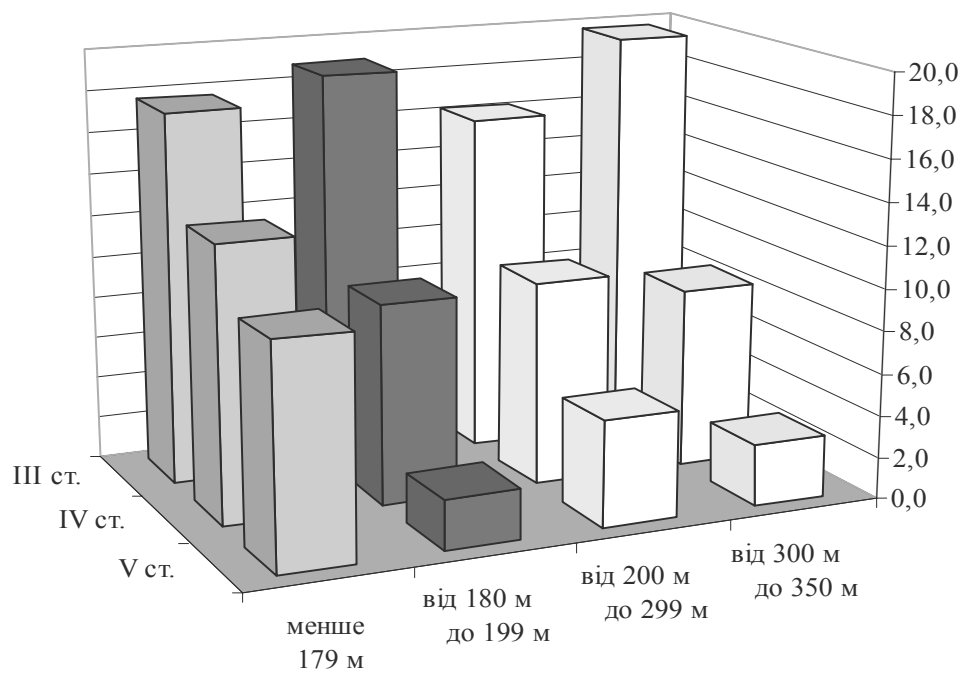


Рис. 1. Розподіл відхилення в кривих ділянках III-IV ступенів на 1 км колії

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при

відступах від норм утримання рейкової колії [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2005. – С. 33.

Надійшла до редколегії 26.08.2008.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ ЗОНЫ АЭРАЦИИ

Розроблена чисельна модель розрахунку фільтрації нейтралізуючого розчину крізь зону аерації для ліквідації осередку забруднення. Модель базується на розв'язку рівняння геоміграції. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Разработана численная модель расчета фильтрации нейтрализующего раствора через зону аэрации для ликвидации области загрязнения. Модель основывается на решении уравнения геомиграции. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A numerical model to calculate the process of soil protection from pollution with the use of neutralizator has been proposed. The model is based on the equation of admixture transfer. The results of numerical experiment are presented.

При ликвидации последствий аварийных разливов на железнодорожном транспорте одной из важных задач является нейтрализация области загрязнения, образовавшейся в зоне аэрации.

Обзор научных публикаций, посвященных данному вопросу [1, 3, 5, 6], показал, что отсутствуют расчетные методики, которые можно было бы применить для расчета процесса нейтрализации загрязнителя в зоне аэрации.

Целью настоящей работы явилось создание численной модели, позволяющей выполнить расчет процесса промывки области загрязнения в зоне аэрации за счет инфильтрации с поверхности грунта нейтрализующего раствора. Для эффективной промывки необходимо, чтобы подача нейтрализующего раствора в зону аэрации осуществлялась по принципу «насыщенной фильтрации». Это можно организовать путем обваловки обрабатываемого участка валиками и подачи на грунт раствора с условием $Q > k$ (где Q – расход нейтрализатора на единицу площади, м/сут; k – коэффициент фильтрации грунта зоны аэрации, м/сут). В случае неоднородной структуры грунта зоны аэрации предлагается использовать обобщенное значение коэффициента фильтрации, которое рассчитывается по методу Г. Г. Каменского.

Математическая модель

При построении математической модели будем считать, что известна структура грунта, глубина расположения зеркала подземных вод, тип нейтрализатора, его концентрация.

Математическая модель. Процесс движения нейтрализующего раствора внутри грунта будем описывать следующим уравнением геомиграции:

$$n \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где n – активная пористость; C – концентрация нейтрализующего вещества; u – скорость фильтрации; D – коэффициент дисперсии; σ – коэффициент, учитывающий процессы сорбции.

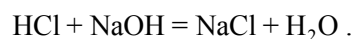
При вертикальной фильтрации скорость фильтрации равна коэффициенту фильтрации.

Для данного уравнения ставятся следующие граничные условия: на входе в расчетную область задается концентрация нейтрализатора, на выходе из расчетной области ставится условие

$\frac{\partial C}{\partial x} = 0$. В качестве начального условия по-

лагается, что в начальный момент времени концентрация нейтрализатора в грунте равна нулю и известна концентрация загрязняющего вещества в грунте.

Уравнение (1) дополняется моделью кинетики процесса взаимодействия загрязнителя в грунте и нейтрализующего вещества. Например, в случае нейтрализации соляной кислоты и подачи раствора NaOH имеем:



В разработанном пакете программ, реализующем на ПЭВМ расчет по разработанной модели, процесс кинетики взаимодействия рассчитывается в отдельной подпрограмме, что

позволяет быстро настроить пакет на решение любой задачи из данного класса.

Метод решения

Необходимо отметить, что для моделируемой ситуации – миграция нейтрализатора + взаимодействие с загрязнителем в зоне аэрации – нельзя использовать существующие аналитические решения уравнения (1). В данной работе расчет уравнения массопереноса нейтрализующего раствора через зону аэрации реализуется с помощью неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления.

Разностная схема является абсолютно устойчивой на каждом дробном шаге и легко программируется.

Практическая реализация

Практическое применение разработанной численной модели рассмотрено на следующем примере. Произошел разлив соляной кислоты, в результате которого произошло загрязнение всей зоны аэрации глубиной 4,64 м, площадь зоны разлива 100 м². В зоне аэрации находится примерно 14100 кг кислоты. Структура грунта: ПРС – 0,5 м, суглинок – 1,8 м, супесь – 2,24 м, далее – грунтовые воды. Концентрация кислоты в грунте составляет $\varphi_0 = 30$ кг/м³. Для реабилитации «пораженного» участка грунта применяется подача 10 %-ного раствора NaOH. Гидрогеологические параметры: $n = 0,2$; $\sigma = 0$; $K_{ж} = 0,34 \cdot 10^{-5}$ м/с, $D = 0,001$ м. При вертикальной фильтрации скорость фильтрации с течением времени становится равной величине коэффициента фильтрации. Поэтому будем считать, что скорость вертикальной фильтрации равна заданному коэффициенту фильтрации. Подача нейтрализатора осуществляется так, чтобы над поверхностью земли был слой нейтрализующего раствора. На практике достаточно, чтобы величина этого слоя составляла примерно 5...10 см.

Результаты вычислительного эксперимента по моделированию промывки грунта в целях нейтрализации в нем кислоты представлены в табл. 1, 2. В табл. 1 показана, для различных моментов времени, величина (глубина) нейтрализованного участка грунта при подаче нейтрализующего раствора, а также количество нейтрализованной кислоты в грунте.

Отметим, что моменту времени $t = 0$ соответствует начало подачи нейтрализатора на пораженный участок. Как видно из данной таблицы, к моменту времени $t = 5826$ мин будет ней-

трализовано практически основная часть кислоты в зоне аэрации. Нейтрализатор, проходя зону аэрации, может попасть в подземный поток. На основе разработанной численной модели имеется возможность прогнозировать интенсивность загрязнения подземного потока за счет фильтрации нейтрализатора. В табл. 2 показано, какое количество нейтрализатора будет поступать в подземный водоносный горизонт, если вовремя не остановить процесс нейтрализации.

Таблица 1

Глубина зоны нейтрализации и количество нейтрализованной кислоты

t , мин	Глубина нейтрализованного участка, м	Масса нейтрализованной кислоты в грунте, кг
226	0,16	700
493	0,40	1400
1320	1,04	3300
5826	4,48	13800

Таблица 2

Количество NaOH, поступившего в подземный водоносный горизонт на 1 м² обрабатываемой зоны разлива

t , мин	5906	5960	6013	6053
Масса NaOH, кг	0,29	1,85	4,44	6,88

Как видно из табл. 2, с течением времени происходит нарастание степени загрязнения подземного водоносного горизонта под обрабатываемым участком за счет инфильтрации нейтрализатора. Для рассматриваемой зоны загрязнения, которая обрабатывается, общее количество нейтрализатора, попавшего в подземный поток к моменту времени $t = 6053$ мин, составит около 688 кг. С помощью разработанной численной модели можно оптимизировать процесс нейтрализации так, чтобы уменьшить количество нейтрализатора, попадающего в подземный поток. Т.к. при расчете определяется на текущий момент времени, какое количество кислоты уже нейтрализовано (а значит известно, какое количество кислоты еще не нейтрализовано), а также какое количество нейтрализатора еще не успело вступить в реакцию в зоне аэрации. На основании этих данных в разработанной программе определяется момент времени, когда в поступающем на грунт растворе уже может не быть нейтрализатора. На-

пример, для рассмотренной выше ситуации, к моменту времени $t = 1520$ мин содержание щелочи может быть равно 0. В этом случае процесс нейтрализации характеризуется такими данными (см. табл. 3, 4).

Таблица 3

Количество нейтрализованной кислоты при оптимизации процесса нейтрализации

t , мин	Масса нейтрализованной кислоты в грунте, кг
6206	13200
6460	13400
6966	13900
7220	14000

Таблица 4

Количество NaOH, поступившего в подземный водоносный горизонт на 1 м² обрабатываемой зоны разлива при оптимизации процесса нейтрализации

t , мин	7346	7473	8233
Масса NaOH, кг	0,011	0,13	0,44

Из данных, приведенных в табл. 3, 4, можно сделать следующий вывод. Во-первых, при оптимизации процесса нейтрализации путем прекращения подачи нейтрализатора в фильтрующий поток в определенный момент времени происходит замедление темпа процесса нейтрализации кислоты в грунте. Во-вторых, процесс оптимизации позволяет существенно уменьшить количество нейтрализатора, поступающего в подземный поток при процессе обработки. Из табл. 4 видно, что к моменту времени $t = 8233$ мин в подземный поток поступит всего 44 кг щелочи для обрабатываемой площади, что в 15 раз меньше, чем в рассмотренном выше варианте, когда не было процесса оптимизации. Отметим, что при решении данной задачи, в расчет вкладывался 5 % «запас» нейтрализатора в фильтрующемся растворе по сравнению с тем, что требуется, исходя из стехиометрического соотношения.

Выводы

Разработана численная модель, на основе которой создан метод расчета процесса нейтрализации области загрязнения, образовавшейся в зоне аэрации путем вертикальной инфильтрации специального раствора. Для реализации предложенного метода используется стандартная гидрогеологическая информация. Метод хорошо приспособлен для практических расчетов, требует около 5...10 с машинного времени на решение одного варианта задачи. Модель может быть использована для обоснования принятых инженерных решений по защите зоны аэрации и подземных вод. Дальнейшее совершенствование метода следует осуществлять в направлении его адаптации к процессам фильтрации в неоднородных грунтах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст]: учеб. пособие в 5 кн. / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: АСВ, 2001.
2. Беляев, Н. Н. Компьютерное моделирование динамики движения и загрязнения подземных вод [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Д. Коренюк, В. К. Хрущ. – Д.: Наука и образование, 2001. – 156 с.
3. Основы гидрогеологических расчетов [Текст] / под ред. Ф. М. Бочевера. – М.: Недра, 1965. – 305 с.
4. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / под ред. М. З. Згуровского. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
5. Полубаринова-Кочина, П. Я. Математические методы в вопросах орошения [Текст] / П. Я. Полубаринова-Кочина, В. Г. Пряжинская, В. Н. Эмих. – М.: Наука, 1969. – 414 с.
6. Скаболланович, И. А. Гидрогеологические расчеты по динамике подземных вод [Текст] / И. А. Скаболланович. – М., Недра, 1954. – 388 с.
7. Экологические последствия загрязнения окружающей среды в результате аварий при перевозках неорганических кислот и технологические аспекты их ликвидации [Текст] / Л. А. Ярышкина и др. // Ресурсосберегающие технологии в транспорте и гидротехническом строительстве: Межвуз. сб. науч. тр. «Новые строительные технологии». – 1997. – Вып. 3. – Д.: Арт-Пресс, 1997. – С. 103-107.

Поступила в редколлегию 25.09.2008.

І. В. МАМЧУК (Шосткінський інститут Сумського державного університету)

ВРАХУВАННЯ ПИТАНЬ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В ПРОЦЕСІ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ПІДПРИЄМСТВ

В цій статті розглядається врахування питань екологічного менеджменту при проведенні реструктуризації екологічно шкідливого підприємства. Для проведення обґрунтованого екологічного менеджменту слід не забувати про екологічний паспорт, який дозволяє детально проаналізувати екологічну ситуацію, що склалася на підприємстві. Розглядається механізм екологічного менеджменту під час реструктуризації.

В этой статье рассматривается учет вопросов экологического менеджмента при проведении реструктуризации экологически вредного предприятия. При внедрении экологического менеджмента следует учитывать экологический паспорт, который позволяет проанализировать сложившуюся на предприятии экологическую ситуацию. Рассматривается механизм экологического менеджмента в процессе реструктуризации.

In this article the account of ecological management issues during conduction of restructuring an ecologically-harmful enterprise is considered. In the implementation of ecological management it is required to take into account an ecological passport, which allows analyzing in detail the ecological situation taking place at an enterprise. The mechanism of ecological management during the process of restructuring is considered.

Сучасна екологічна ситуація в Україні характеризується як кризова. Причиною є нехтування об'єктивними законами розвитку і відтворення природно-ресурсного комплексу України. Економіці нашої країни притаманна висока питома вага ресурсномістких, енергоємних технологій, впровадження яких здійснюється без будівництва відповідних очисних споруд [1].

Необхідність стратегічного підходу при здійсненні природоохоронної діяльності визначилися в кінці 60-х рр. XX століття у зв'язку з усвідомленням загрози екологічної кризи. І вже в 70-х рр. було вибрано створення методів захисту навколишнього середовища в кінці виробничого циклу, використовуваних на «кінці труби» (end-of-pipe), але можливості цього напрямку були швидко вичерпані. Наступним напрямком охорони навколишнього середовища було переозброєння виробництва на основі ресурсозберігаючих технологій та технологій, які призводять до зменшення відходів. Цей спосіб виявився досить високовитратним. Тож далі пошук маловитратних і ефективних способів збереження навколишнього середовища привів до розвитку екологічного менеджменту.

Метою роботи є дослідження врахування екологічного менеджменту в процесі реструктуризації шкідливих підприємств в умовах перехідної економіки. В Україні аспекти екологічного менеджменту практично мало досліджені. Окремі з них опрацювали Погрібний О. О. (у частині екологічного оподаткування підприємств), Андрейцев В. І. (в аспекті правового

забезпечення екологічної безпеки), Кашенко О. Л. (фінансові аспекти екологічного менеджменту). При підготовці цієї статті були використані також наукові розробки вчених-економістів, фахівців в області економічного менеджменту Балацького О. Ф., Мельника Л. Г., Яндиганова Я. Я., Гармідера Л. Д., Дубас Р. Г. та ін.

Перш ніж починати на підприємстві зміни, що мають на меті вихід підприємства з кризи, забезпечення його ефективного функціонування і розвитку, необхідно визначити і проаналізувати причини того, чому підприємство опинилось у кризовому становищі та працює не ефективно.

На думку фахівців, практично кожне підприємство завдає шкоди навколишньому середовищу. Водночас існують певні нормативи, виконання яких зменшує завдану екологічну шкоду, та служби, що стежать за виконанням цих нормативів.

Шкідливі підприємства – це підприємства промислового характеру, які при випуску продукції можуть своїми викидами зашкодити навколишньому середовищу. Кожне підприємство промислового характеру має дозвіл на викид шкідливих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел.

Усі підприємства намагаються виконувати нормативи та приписи екологічних служб. Але часто вони цього не можуть зробити в силу різних обставин, включаючи фінансові.

Кожне підприємство може працювати, приносячи все менше шкоди навколишньому сере-

довищу. Для цього необхідно вкладати кошти і впроваджувати сучасні природоохоронні технології, а при необхідності – локальні очисні споруди. Щодо промислових відходів: потрібно так планувати роботу підприємства, технологічні процеси, щоб створювати найменші відходи, в ідеалі наближуючи їх до нуля.

Реструктуризація – це комплекс різнобічних взаємопов'язаних перетворень на підприємстві з метою підвищення довгострокової ефективності виробництва, його прибутковості, досягнення оптимальності його функціонування.

Екологічний менеджмент – це аналіз, планування та контроль за проведенням природоохоронних заходів з метою досягнення задач підприємства, що спрямовані на отримання прибутку та екологічно безпечний розвиток. Основні цілі і критерії оцінки в екологічному менеджменті припускають процес постійного поліпшення, яке з року в рік повинне досягатися у всіх екологічно значущих аспектах діяльності економічних суб'єктів, де це можливо. Це поліпшення в цілому створює необхідну основу для оцінки екологічної самостійності економічних суб'єктів. Таким чином, ефективний екологічний менеджмент забезпечує підприємству «кредит довіри» у стосунках зі всіма зацікавленими в його діяльності сторонами. У цьому полягає основна перевага екологічного менеджменту порівняно з формальним екологічним управлінням [1].

Екологічний менеджмент має свою специфіку: для підвищення рівня обґрунтованості екологічних рішень на підприємствах вводяться спеціальні природоохоронні або екологічні папорти.

Екологічний паспорт дозволяє детально проаналізувати екологічну ситуацію, що склалася, визначити першочерговість вирішуваних задач і їх вплив на стан навколишнього середовища [2].

Екологічний паспорт є документом, в якому повинні бути відображені наступні відомості: вид сировини, палива, енергії, кількісні характеристики продукції, що випускається, кількісні і якісні характеристики викидів забруднюючих речовин від підприємства, результати порівняння технологій, що використовуються підприємством з кращими вітчизняними і зарубіжними технологіями.

Інформація, що міститься в екологічному паспорті, призначена для вирішення наступних проблем:

- оцінка впливу викидів забруднюючих речовин і продукції на навколишнє середовище і

здоров'я населення і визначення розміру платні за природокористування, що випускається, можливих санкцій;

- встановлення підприємству гранично допустимих норм викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище;

- експертиза проектів реконструкції підприємства;

- планування підприємствами природоохоронних заходів і оцінка їх ефективності;

- контроль за дотриманням підприємствами законодавства в області охорони природного середовища;

- підвищення ефективності використання природних і матеріальних ресурсів, енергії і вторинних ресурсів.

З'являється об'єктивна необхідність всебічної перевірки екологічної діяльності підприємства по виробництву кожного продукту, дотриманню кожного технологічного процесу, і менеджер зобов'язаний декларувати пріоритетність природоохоронних цілей.

Побудова екологічного менеджменту на шкідливих виробництвах включає такі первинні елементи [1]:

- суб'єкт екологічного менеджменту – особа чи організація, яка здійснює екологічне управління об'єктом екологічного менеджменту в процесі реструктуризації;

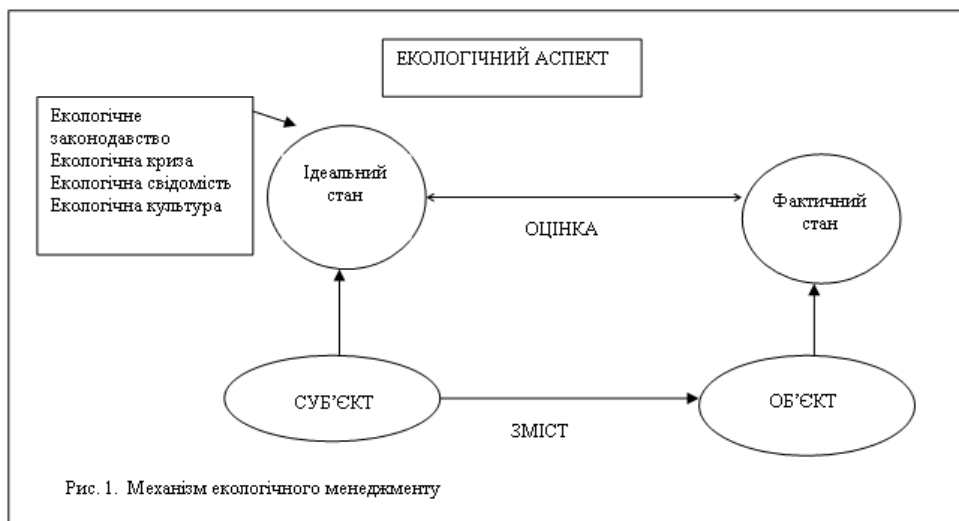
- об'єкт екологічного менеджменту – суб'єкт екологічно небезпечної діяльності, джерело екологічної небезпеки або природний комплекс, щодо екологічних характеристик яких здійснюється екологічний менеджмент;

- зміст екологічного менеджменту – сукупність управлінських заходів, за допомогою яких суб'єкт впливає на об'єкт екологічного менеджменту (планування, облік, аудит, інформування, фінансування тощо);

- екологічний аспект (характеристика) – аспект функціонування об'єкта екологічного менеджменту, що стосується вимог екологічного законодавства, запобігання чи розв'язання екологічних проблем;

- ідеальний стан об'єкта екологічного менеджменту – результат, якого прагне досягнути суб'єкт екологічного менеджменту за допомогою заходів управлінського впливу на об'єкт екологічного менеджменту. Є об'єктивні і суб'єктивні критерії визначення ідеального стану: об'єктивні – екологічне законодавство й екологічна криза; суб'єктивні – екологічна свідомість і культура.

На рис. 1 подано механізм екологічного менеджменту [3].



Функціонування української економіки з аналізу позитивних результатів, здобутих за останні періоди, свідчить, що на сьогодиньньому етапі її розвитку необхідною є не просто традиційна реструктуризація відповідних галузей цього процесу, а досягнення певної стабілізації економічної ситуації в країні, яка вимагає оновлення не тільки технологій підприємств базових галузей промисловості, а й систем управління ними взагалі.

Система екологічного менеджменту – частина загальної системи менеджменту, що включає організаційну структуру, планування діяльності, розподіл відповідальності, практичну роботу, а також процедури, процеси і ресурси для розробки, упровадження, оцінки досягнутих результатів реалізації і вдосконалення екологічної політики, цілей і задач [2].

На рис. 2 показано у вигляді схеми етапи впровадження і функціонування системи екологічного менеджменту в процесі реструктуризації.

У «чистому» вигляді системи екологічного менеджменту на українських підприємствах не існує. Оцінка природоохоронної діяльності, процесів управління відходами обумовлює необхідність впорядкування взаємозв'язків і взаємодії між підрозділами підприємства, службами, рівнями управління. Така необхідність продиктована особливостями управління відходами, упровадження нових форм і вдосконалення існуючих, упровадження екологічного менеджменту. Як форма прояву організаційно-економічного механізму управління відходами, пропонується розробка та впровадження екологічного стандарту підприємства [3].

Стандартизація природокористування розуміється як процес встановлення і застосуван-

ня керівних положень і правил з метою впорядкування діяльності в природокористуванні, забезпечення екологічної безпеки підприємства [2].



Рис. 2. Етапи впровадження і функціонування системи екологічного менеджменту

Отже, необхідні обґрунтування, розробка, затвердження екологічного стандарту – документу, що забезпечує досягнення, підтримку оптимальних параметрів навколишнього середовища на підприємстві і в зоні дії (на суміжних територіях), що визначає шляхи, засоби,

методи їх досягнення в умовах розвитку принципів відносної економічної самостійності господарюючих суб'єктів, з урахуванням взаємодії з іншими суміжними підприємствами, територіями в промисловому вузлі, місті через загальність природних ресурсів і об'єктів.

Таким чином, об'єктом стандартизації є процес природокористування в масштабі підприємства, з урахуванням суміжних територій, взаємопов'язаних загальними природними ресурсами, об'єктами і процесом їх використання.

Екологічний стандарт підприємства розробляється для реалізації організаційно-економічного механізму природокористування в межах і в зоні впливу підприємства з використанням законодавчо-правових, техніко-економічних методів; нормативної бази природокористування, методів управління і менеджменту.

Одним з найважливіших аспектів екологічного менеджменту є *екологічний аудит*. Він полягає у тому, що група досвідчених ревизорів, фахівців в різних областях ретельно аналізує природоохоронну програму підприємства і його потенційну загрозу для навколишнього середовища. Використовуючи рекомендації групи, керівництво шкідливого підприємства може виправити свою програму і уникнути кризи. Екологічний аудит – це механізм довгострокового управління, призначений для запобігання кризі навколишнього середовища [3].

Первинна оцінка відповідності будь-якого виробництва екологічним вимогам може бути, як правило, виконана фахівцями підприємства, що гарно знають стан технологій і інші особливості підприємства, де використовуються ці технології. Для цієї мети фахівці з-за кордону пропонують використовувати критерії оцінки стану виробництва.

Отримані після висновку відомості дають з екологічних позицій уявлення про окремі проблеми виробництва, якість продукції, що випускається, готовність і здатність підприємства розвиватися з урахуванням сучасних вимог охорони навколишнього середовища і мати відповідні витрати (табл. 1). Подібний підхід дозволяє встановити «зону підвищеної уваги», величина дій на природне середовище при цьому не розглядається. У свою чергу, кількісні оцінки антропогенної дії використовуються з метою встановлення ступеня екологічної небезпеки промислового об'єкту.

Таблиця 1

Класифікація витрат на раціональне природокористування на підприємстві [2]

Найменування витрат
1. Витрати, пов'язані із створенням і експлуатацією фондів природоохоронного призначення: споруди, устаткування, прилади.
2. Витрати на зміст персоналу: екологічну підготовку, перепідготовку, підвищення кваліфікації зайнятих у сфері раціонального природокористування; екологічна освіта, виховання всіх членів колективу підприємства, включаючи витрати на забезпечення процесу навчання, екологічної підготовки.
3. Оплата послуг сторонніх організацій, зокрема: <ul style="list-style-type: none"> - оплата послуг експертів, юристів і консультантів, що залучаються до рішення екологічних проблем підприємства; ліцензування; - оплата послуг з проведення аналітичних робіт, паспортизації джерел емісії забруднюючих речовин; - оплата фахівців, що залучаються для проведення екологічного аудиту; - оплата послуг з обґрунтування, розробки нормативів викидів, скидань, складування відходів; - оплата послуг з розробки екологічного паспорту підприємства.
4. Амортизаційні відрахування і витрати на екологічні інвестиції: <ul style="list-style-type: none"> - амортизаційні відрахування природоохоронного устаткування, споруд, приладів; - інвестиції в технології по переробці відходів; - інвестиції на запобігання і мінімізацію повітряних емісій; - інвестиції у водозберігаючі технології; - інвестиції в шумозахисні технології; - відсотки за кредити.
5. Витрати на компенсацію негативної дії підприємства на екосистему і втрати інших споживачів, користувачів загальними об'єктами природи, зокрема платежі: <ul style="list-style-type: none"> - за гранично допустимі викиди, скидання в межах лімітів; - витрати по сплаті штрафних санкцій і відшкодованого збитку у випадках недотримання вимог з охорони довкілля від забруднень і інших шкідливих дій; - за використання природних ресурсів понад встановлені ліміти і в межах лімітів; - компенсаційні платежі по позовах, рішеннях суду; - витрати, пов'язані з екологічним страхуванням, обліком, звітністю.
6. Витрати на створення, розвиток, зміст полігонів відходів (шламо-, хвосто-, золосховищ), утилізацію відходів, збір, поховання і т.д.

Фактична дія промислового підприємства на навколишнє середовище (викиди забруднюючих речовин, відходи, використання ресурсів) змінюється з часом. Можна виділити три основні «сценарії» можливої зміни фактичної дії промислового виробництва на навколишнє середовище (з моменту запуску в експлуатацію).

В цілому ефективність природоохоронної діяльності підприємств в умовах недостатності розвитку економічної політики в країні, зацікавленості підприємств, корпорацій у сфері навколишнього середовища і раціональному природокористуванні украй низька.

Підприємства, що практикують екологічний менеджмент, теоретично одержують ряд істотних переваг. По-перше, це зниження витрат за рахунок: ресурсо- і енергозбереження; утилізації, продажу побічних продуктів і відходів виробництва; мінімізації платні за ресурси і забруднення навколишнього середовища. По-друге, зростання доходів за рахунок вищих цін на екологічно чисту продукцію; підвищення конкурентоспроможності; створення нових видів продукції. По-третє, сприятливий імідж, здатність до постійного оновлення асортименту продукції, кращі можливості для експорту продукції.

Процес реформування економіки України охоплює зміни не лише на макрорівні, але і на мікрорівні, на рівні підприємств. Причому, зміни мають відбуватися не лише у формі та структурі власності, а, головне, у системі менеджменту підприємства.

Система менеджменту потребує приведення її у відповідність вимогам ринку, вимогам гнучкості, оптимальності та іншим принципам, що досліджуються у роботі.

Українські підприємства сьогодні переживають глибоку кризу, яка викликана певними об'єктивними і суб'єктивними причинами. Об'єктивними причинами є фактори зовнішнього середовища фірми. Суб'єктивними причинами є внутрішні фактори, пов'язані із орієнтацією підприємства, системою менеджменту, системою постачання, виробництва та збуту, організаційною культурою фірми, тощо.

Через процес реформування промисловості, а саме реформування на мікрорівні вже пройшли колишні соціалістичні країни, що обрали

ринкову орієнтацію. Цей досвід є корисним для українських підприємств, але не завжди є можливим для використання. Цікавим є досвід Східної Німеччини, яка реалізовувала програми реструктуризації підприємств при державній фінансовій підтримці. Позитивним у цих програмах було саме те, що вони є комплексними, а практика показала, що такий підхід є результативним.

Досвід України є ще дуже бідним з цього питання – так, не було жодного прикладу комплексної реструктуризації підприємства, який би можна було назвати успішним прикладом виходу з кризи, забезпечення конкурентоспроможності та довгострокового розвитку підприємства.

Є надія, що використання передового зарубіжного досвіду, активізація методичних розробок (у тому числі і розробки автора) допоможуть розвитку української економіки, який можна забезпечити шляхом розвитку і зростання конкурентоспроможності української промисловості.

Щоб покращити екологічний стан міста, треба вкладати гроші у розвиток і будівництво очисних споруд, зменшивши таким чином викид шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Як сказав більше 200 років тому Адам Сміт, «щоб створити багатство країни, дуже багато чого потрібно перетворити у руїни». Те саме стосується і шкідливих підприємств незалежно від їхнього віку, розміру, галузі, у якій вони працюють, і країни походження.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боронос, В. М. Еколого-економічний аналіз структуризації показників виробництв [Текст] / В. М. Боронос, І. В. Мамчук // Вісник СумДУ, серія «Економіка», 2006. – № 7.
2. Яндыгаров, Я. Я. Экономика природопользования [Текст]: учебник / Я. Я. Яндыгаров. – М.: КНОРУС, 2005. – 576 с.
3. Макарова, Н. С. Экономика природокористування [Текст]: навч. посібник / Н. С. Макарова, Л. Д. Гармідер, Л. В. Михальчук. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 322 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.

И. В. НОВИКОВА (Шосткинский институт Сумского государственного университета)

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Досліджено проблему ресурсозберігання в нових умовах господарювання і економічного становлення і росту українських промислових підприємств. Розкрито значення науково-технічного прогресу при вирішенні даної проблеми.

Исследована проблема ресурсосбережения в новых условиях хозяйствования и экономического становления и роста украинских промышленных предприятий. Раскрыто значение научно-технического прогресса при решении данной проблемы.

The problem of saving the resources in new conditions of management and economic establishing and growth of the Ukrainian industrial enterprises is studied. The role of scientific and technical progress in solving this problem is given.

В процессе хозяйственной деятельности ресурсы предприятия занимают одно из центральных мест. Глобальный кризис, связанный с нехваткой природных ресурсов, который сопровождает современное экономическое развитие, обусловил возникновение острых проблем в деятельности отечественных промышленных предприятий. Именно проблема взаимосвязи экономического развития промышленных предприятий, а значит и экономического, и социального развития общества в целом, и ресурсосберегающих факторов привлекает к себе повышенное внимание. Профессора И. К. Быстрыков, С. К. Харичков, В. Н. Лексин, Л. Г. Мельник, Н. К. Шапочка и другие уделяли большое внимание обоснованию экономических механизмов и принципам управления природопользования и ресурсосбережения в новых условиях хозяйствования. Исследованию данной проблемы и посвящена эта статья.

Цель данной статьи – исследование проблемы ресурсосбережения в новых условиях хозяйствования и экономического становления и роста украинских промышленных предприятий, изучение причин, обуславливающих необходимость эффективного использования ресурсов, а также значение научно-технического прогресса при решении данной проблемы.

Так что же такое ресурсосбережение и каково его место в экономическом и социальном развитии общества?

Ресурсосбережение – это совокупность мер по экономному и эффективному использованию всех факторов производства, общее свойство которых состоит в потенциальной воз-

можности их участия в производстве (производственные ресурсы) и в потреблении (потребительские ресурсы). Ресурсосбережение означает использование всех видов ресурсов (материальных, трудовых, природных, финансовых и других) для решения задач экономического и социального развития.

Поскольку потребности людей и общества стремительно растут, а ресурсы ограничены и редки, то роль ресурсосбережения в решении коренной триединой проблемы: что, как, для кого производить все возрастает. Ресурсосбережение охватывает не только факторы производства, но и продукцию, поскольку продукция одной отрасли потребляется в другой, связанной с ней общественным разделением труда. Ресурсосбережение предусматривает удовлетворение потребности народного хозяйства в их приросте преимущественно за счет экономии. Достигается это путем комплексного использования ресурсов, устранения потерь при добыче, транспортировке и хранении, сокращении отходов при переработке, более широкого вовлечения в хозяйственный оборот вторичных ресурсов и попутных продуктов, путем улавливания ценных продуктов из отходящих газов и водных стоков, утилизации отходов и др. Ресурсосбережение должно обеспечиваться на всех стадиях производства: при добыче, транспортировке, хранении, погрузке-разгрузке, разделке, переработке и т.п.

Финансовая политика в области ресурсов направленно воздействует на долговременное состояние предприятия, а также определяет его текущее состояние. Она диктует тенденции

экономического развития, перспективный уровень научно-технического прогресса, состояние производственных мощностей предприятия. Необходимость внимательного рассмотрения данной темы заключается в том, что в процессе хозяйственной деятельности практически все украинские предприятия сталкиваются с проблемой нехватки ресурсов для обеспечения нормальной работы.

В непростых условиях становления украинской экономики максимально повысился интерес к проблеме эффективного и рационального использования ресурсов предприятия. Оптимизация управленческих решений в области ресурсов требует пристального внимания к вопросам оценки эффективного анализа будущего положения. Особенности финансовой политики предприятия говорят о необходимости всесторонней комплексной экономической оценки различных вариантов использования ресурсов. В свою очередь, выбор наиболее подходящей стратегии зависит от реальных экономических условий, которые требуют гибкого изменения сложившейся практики управления финансами предприятия для нормализации всего производственного процесса.

Существует масса причин, заставляющих предприятие заниматься изучением эффективного использования ресурсов. Причины, обуславливающие эту необходимость, могут быть различны, однако в целом их можно подразделить на следующие виды: улучшение финансовых показателей, повышение уровня производства, наращивание объемов производственной деятельности. Степень проводимых изменений в области ресурсов различна. Так, если речь идет об увеличении существующих объемов производства, решение может быть принято достаточно безболезненно, поскольку руководство предприятия ясно представляет себе, в каком объеме и какие элементы ресурсов необходимо при этом увеличить. Задача осложняется, если речь идет о повышении эффективности использования ресурсов, поскольку в этом случае необходимо учесть целый ряд факторов: возможность изменения состояния предприятия, доступность дополнительных объемов ресурсов, возможность освоения новых методик, соответствие существующих форм отчетности новым требованиям.

Соблюдение ресурсосбережения – важная характеристика качества техники и технологии. Техника считается ресурсосберегающей, если она требует меньше расхода ресурсов на изготовление и эксплуатацию. Ресурсосберегающей

технологией называют технологию малоотходную или безотходную. Необходимость ресурсосбережения вызвана дефицитом многих видов ресурсов, истощением их запасов в природе, значительным удорожанием добычи и другими факторами. В связи с переходом к интенсивному ресурсосберегающему типу экономического роста, основанного на использовании достижений НТП, снижении фондоемкости и материалоемкости продукции, повышении производительности труда, улучшении технико-экономических показателей и качества продукции возрастают возможности ресурсосбережения.

Большое значение в решении проблемы ресурсосбережения имеет научно-технический прогресс. Научно-технический прогресс – это непрерывный процесс открытия новых знаний и применения их в общественном производстве, позволяющий по-новому соединять и комбинировать имеющиеся ресурсы в интересах увеличения выпуска высококачественных конечных продуктов при наименьших затратах.

Влияние научно-технического прогресса на рациональное ресурсопотребление проявляется, в основном, в двух направлениях. С одной стороны, возникают широкие возможности для разработки и выпуска новых видов сырья и материалов с улучшенными техническими и экономическими параметрами, рационального использования всех ресурсов промышленных предприятий, с другой, создаются предпосылки для технического и технологического перевооружения производства. Это предполагает осуществление мер по формированию рациональной структуры расходования сырья и материалов, улучшению условий труда, охране окружающей среды и т.п. Научно-технический прогресс, стимулируя, например, увеличение выпуска материальных ресурсов, в то же время вызывает относительное снижение потребности в них в результате сокращения удельного расхода сырья, материалов, топлива и энергии, внедрения прогрессивных технологий и различных видов продукции и др. Снижение затрат в издержках производства продукции, товаров и услуг, повышение на основе этого эффективности производства является условием обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции, экономического роста хозяйствующих субъектов и страны в целом. Поэтому ресурсосбережение является необходимым фактором социально-экономического развития общества, а исследование вопросов эффективности ресурсосбережения в совре-

менных условиях приобретает особую значимость. Именно усилия, направленные на внедрение ресурсосберегающих технологий, способствуют выводу промышленности из кризисного состояния и экономическому росту хозяйствующих субъектов Украины.

Перевод украинской экономики на ресурсосберегающий путь развития тесно связан с формированием и реализацией программ повышения эффективности использования ресурсов, процессом расширения методической базы ресурсосбережения. Инвестиции в ресурсосбережение значительно меньше тех затрат, необходимых для выработки и привлечения необходимого количества ресурсов. Однако, несмотря на это, процесс ресурсосбережения находится в зачаточном состоянии. Одной из главных причин, сдерживающих процесс ресурсосбережения в промышленности, является ограниченность средств на реализацию эффективных ресурсосберегающих проектов и мероприятий в условиях недостаточной мотивации к экономии ресурсов у значительной части субъектов ресурсопотребления. Результат сложившейся ситуации — это экономический ущерб, который выражается как в виде материальных, так и финансовых потерь.

На современном этапе ресурсосберегающий аспект развития промышленного комплекса приобретает особое значение вследствие ряда объективных обстоятельств и, прежде всего, усилившегося негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Достигнутые масштабы извлечения из недр природного сырья, топливно-энергетических ресурсов, расширение и увеличение использования компонентов биосферы при сохранении относительно высокой доли традиционных технологий приводят к резким изменениям среды обитания. Это может привести к необратимым последствиям и создать реальную угрозу существования общества. Ухудшение условий добычи природного сырья, его переработки и доставки потребителям, значительные затраты и расходы на обеспечение рационального природопользования (рекультивация земель, очистка водного и воздушного бассейнов, создание природоохранных сооружений и др.) обуславливает качественно новые подходы к ресурсосбережению как одному из факторов интенсификации общественного производства и улучшения экологической обстановки. Ориентированность экономики преимущественно на решение социальных задач и снижение затрат труда на производство продукции, товаров и

услуг предопределяет необходимость реализации, в первую очередь, мер направленных на повышение эффективности ресурсопотребления. К таким мерам относятся комплексное использование сырья, ресурсосбережение, утилизация и квалифицированная переработка отходов производства, широкое внедрение прогрессивных, главным образом, безотходных технологий, создание новых материалов с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающие требованиям потребителей. Вместе с тем, нельзя не обращать внимание и на необходимость рационального использования трудового, финансового, научно-технического потенциала предприятий.

Рациональное ресурсопотребление возможно только при кардинальном совершенствовании технологических процессов производства сырья и материалов, конечной продукции, оптимизации структуры и качественного состава персонала предприятий, финансовых и информационных потоков и использования достижений научно-технического прогресса во всех отраслях промышленности и народного хозяйства в целом.

В промышленности внедрение ресурсосберегающих технологий, производство ресурсосберегающего оборудования, учет и контроль потребления ресурсов, сертификация выпускаемой продукции, контроль качества продукции и другие меры приводят к положительным изменениям на предприятиях. Это выражается в снижении издержек, интенсификации и росте производства, повышении конкурентоспособности и экспортных возможностей продукции, осуществлении структурных сдвигов в отрасли, увеличении загрузки производственных мощностей, обновлении основных производственных фондов, снижении негативного воздействия на окружающую среду, уменьшении платы за природопользование и др.

Для обоснования принятия управленческих решений в данной сфере необходимо выявление, помимо экономического эффекта, также и социально-экономических факторов ресурсосбережения.

Разработка и совершенствование методов стимулирования ресурсосбережения в народном хозяйстве в целом и привлечения инвестиций в него, статистическое наблюдение за динамикой изменения показателей потребления ресурсов, проведение обследований использования всех видов ресурсов на предприятиях и в организациях, внедрение ресурсосберегающих технологий и стандартизация, учет и регулиро-

вание потребления ресурсов, в том числе, вторичных, и ряд других мероприятий приводят к положительным социально-экономическим результатам. В целом – это обеспечение на перспективу резервных ресурсов и рациональное использование собственного потенциала страны, повышение конкурентоспособности отечественной продукции и экспортных возможностей страны без наращивания потребления ресурсов, стабилизация в финансовой сфере и расширение инвестиционных возможностей, развитие предпринимательства и новых форм собственности, обеспечение условий экономического роста хозяйствующих субъектов и страны в целом, сокращение общественных затрат на обеспечение надежного ресурсного снабжения, увеличение занятости и повышение жизненного уровня населения, рост национального благосостояния, создание благоприятных условий для роста роли экономики страны в мировой системе и др.

Рациональное использование ресурсов на всех стадиях общественного воспроизводства как фактор экономического роста страны, повышения национального благосостояния, обеспечения нормальных условий жизнедеятельности населения является одним из важнейших направлений государственной экономической политики. В создавшейся ситуации особого внимания требует вопрос оценки эффективности ресурсосбережения и ее составляющих для последующего их учета при разработке сценариев реализации целевых программ в этой области. Прогнозирование вероятных эффектов рационального использования ресурсов в ди-

намике при различных вариантах последовательности реализации мероприятий позволит судить о показателях эффективности и приоритетности направлений ресурсосбережения как с точки зрения хозяйствующих субъектов, территорий и отраслей, так и для страны в целом.

Для решения ресурсосберегающих характеристик промышленного производства необходимо:

- усовершенствовать методологию внедрения технического прогресса, направленного на более эффективное и рациональное использование ресурсов производства;
- углубить научные исследования по проблеме ресурсосбережения;
- ориентировать отечественные промышленные предприятия на инновационный путь развития при решении проблемы ресурсосбережения;
- увеличить инвестиции в техническое развитие производств и в ресурсосберегающие технологии;
- усилить систему экономического стимулирования производств, внедряющих ресурсосберегающие технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельник, Л. Г. Экологическая экономика [Текст]: учеб. пособие / Л. Г. Мельник. – Сумы, 2003.
2. Акимова, Т. А. Экология [Текст]: учеб. пособие / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – ЮНИТИ, 1998.

Поступила в редколлегия 25.08.2008.

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕТАПІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТОВАРІВ

В статті досліджено основні стадії життєвого циклу екологічного товару, аналіз витрат та прибутку на кожному етапі, шляхи продовження життєвого циклу товару, а також проводиться оцінка життєвого циклу товару.

В статье исследуются основные стадии жизненного цикла экологического товара, анализ затрат и прибыли на каждом этапе, пути продления жизненного цикла товара, а также проводится оценка жизненного цикла экологических товаров.

In the article the basic stages of life cycle of ecological commodity, the analysis of charges and income on every stage, the ways of prolongation of life cycle of commodity are studied, and also the estimation of life cycle of the commodity is conducted.

Велике значення для кожного підприємства мають характер та тривалість життєвого циклу екологічних товарів, специфіка його стадій, особливості переходу від однієї стадії до іншої, які суттєво впливають на обсяги продажу та рівень прибутковості.

Вихідними даними для прийняття рішень при розробці товарної політики є оцінка життєвого циклу товару на ринку, яке являє собою модель ринкової реакції. Якщо знати закономірності розвитку життєвого циклу товарів та прогнози тривалості окремих його фаз, підприємство може визначити момент початку НІОКР, запуск виробництва та впровадження на ринок нових екологічних товарів та модифікацію існуючих, час виходу з ринку застарілих, планувати об'єми реалізації та прибутку, капіталовкладень у часі.

Кожен товаровиробник прагне, щоб його товари завоювали ринок і протримались на ньому якнайдовше. Але це дуже складно, бо кожний екологічний товар має свій життєвий цикл. Його можна порівняти з життєвим циклом біологічних об'єктів, які за своє життя проходять декілька стадій від зародження до смерті.

Отже, життєвий цикл товару – це період часу від виведення товару на ринок до його виходу з ринку внаслідок появи нових товарів, які задовольняють потреби споживачів більш ефективно [1].

Виділяють п'ять фаз життєвого циклу товару: розробку, виведення товару на ринок, зростання, зрілість і спад. Кожному з етапів життєвого циклу відповідають ринкові труднощі. На перших етапах головна задача – це розробка конкурентоспроможного товару, забезпечення

інформацією про товар. В період росту необхідно підтримувати стабільність виробництва та якості товару. Одночасно необхідно займатися ідентифікацією торгової марки і ринкової позиції. На стадії зрілості потрібно підтримувати та підвищувати рентабельність, зберігати свої позиції на ринку та займатися модифікаційними заходами та пошуком перспективних для росту сегментів ринку. Під час спаду важливу роль для прибутковості відіграють зниження витрат, цінова політика та збут.

Якщо знати стадію життєвого циклу, на якій знаходиться екологічний товар, можна розробляти ефективну стратегію і тактику. Тривалість життєвого циклу екологічного товару залежить не тільки від товару, але й від ринку, на якому цей товар знаходиться. Концепція життєвого циклу виходить з того, що будь-який товар витісняється через деякий час з ринку більш вдосконаленими або дешевшими, з покращеними екологічними характеристиками товарами. Підприємства, які хочуть досягти певних успіхів на ринку, повинні ефективно і своєчасно управляти життєвим циклом товарів.

Етап розробки є дуже важливим для екологічного товару. Необхідно дослідити ринок, а саме споживачів, конкурентів, знайти свою нішу і розробити товар, який би відповідав екологічним вимогам споживачів.

При створенні екологічного товару товаровиробник повинен сприймати його на трьох рівнях.

Перший рівень – товар за задумом. Кожен товар є способом рішення якоїсь проблеми, тому завданням виробника є виявити у товарі екологічні можливості і потреби та продати блага, які він собою несе.

Другий рівень. Товар за задумом перетворюється в реальний товар, який має наступні характеристики: рівень якостей, набір властивостей, специфічне оформлення, марочна назва, специфічна упаковка.

Третій рівень – товар з підкріпленням, тобто надання додаткових послуг і вигод. Це змушує виробника розглянути, як покупець товару підходить до існуючої проблеми, яку він хоче вирішити за допомогою екологічно чистого товару. Товаровиробник може підкріпити свою товарну пропозицію таким способом, як екологічна упаковка, екологічна реклама, постачання.

При розробці екологічно чистої продукції необхідно приділяти увагу дбайливому використанню ресурсів, тривалості терміну використання, впливу на навколишнє середовище. Труднощі, які виникають на етапі розробки, полягають у пов'язанні з:

- утилізацією відходів за рахунок складності продуктів та способів виробництва;
- важко визначеним навантаженням, яке робить виробництво і продукція на навколишнє середовище;
- збільшенням кількості інновацій та скороченням часу їх впровадження;
- зменшенням строку служби товарів.

Еколого-товарна політика повинна базуватися як на всесвітньому обліку бажань споживачів по відношенню до характеристик екологічно чистого та екологічно безпечного товару, так і на аналізі механізмів формування споживої вартості навколишнього середовища.

Етап виведення товару на ринок. Цей етап характеризується повільним зростанням продажу. Деякі товари на даному етапі так і не визнаються споживачами. Причинами повільного збільшення обсягу продажу можуть бути технічні проблеми виробництва товару, традиційні смаки споживачів, неефективність реклами, повільне розширення виробничих потужностей, слабка система сервісу. Витрати на маркетинг тут великі, які пов'язані з рекламою, стимулюванням збуту, забезпеченням ефективної роботи торгових посередників. Ціни залежать від виду товару та обраної цінової стратегії, прибутку на цьому етапі ще немає. Необхідно проінформувати споживача щодо виведення на ринок товару з покращеними екологічними характеристиками.

Етап зростання. Цей етап характеризується швидким збільшенням попиту на екологічні товари та зростанням об'ємів продажу, а виходячи з цього, і прибутку. Разом з цим на ринку з'являються товари конкурентів. Товари по-

стійно модернізують. Витрати на маркетинг з метою протидії конкурентам збільшуються. Для того, щоб підвищити свою конкурентоспроможність, необхідно знайти нові сегменти ринку, знизити ціну на товар, поліпшити рекламу, якість товару, розширити нові канали збуту. На цьому етапі можна прогнозувати та планувати час виведення екологічного товару з ринку і заміни його новим.

Етап зрілості. Цей етап найтриваліший з усіх етапів життєвого циклу товару. Ринок насичується екологічними товарами, що веде до уповільнення зростання обсягів збуту. Прибуток поступово знижується через появу надлишкових виробничих потужностей, зростання витрат на стимулювання збуту, модифікаційні заходи, збільшення знижок з ціни, збільшення витрат на науково-дослідну роботу. В результаті цього на ринку залишаються ті конкуренти, які мають сильніші позиції. Для того, щоб продовжити етапи зростання та зрілості, може бути застосована одна з трьох стратегій, а саме модифікація ринку, модифікація товару та модифікація маркетингових заходів.

Взагалі модифікація – це процес вдосконалення виробником характеристик та якостей вже існуючого екологічного продукту з метою подовження його життєвого циклу.

Створення модифікації можливо з використанням двох прийомів. Перший прийом приводить до зміни надання товару на ринку – створення варіації. Варіація – це прийом модифікації товару, при якому здійснюється пропонування ринку нового варіанта екологічного товару та виключення старого варіанта з ринку.

Другий прийом модифікації товару – це диференціація, при якому на ринку з'являється новий варіант продукту поряд зі старим. Цим досягається більший асортимент товару.

Існують наступні шляхи подовження життєвого циклу товару за допомогою модифікації.

1. Модифікація комплексу маркетингу. Дана модифікація передбачає зміну одного або декількох елементів з метою привертання уваги до товару нових споживачів.

Модифікація здійснюється за допомогою варіації маркетингових інструментів, а саме:

- зміни цін (зменшити преїскурантну ціну, ввести спеціальні знижки, спростити умови кредиту або підняти ціну, пропонуючи товар більш високої якості). Область формування ціни екологічних товарів, яку споживач готовий заплатити, ширше, ніж у звичайних продуктів, але при цьому споживачі повинні розуміти, що вони купують екологічно безпечні товари;

– зміни використання інструментів стимулювання збуту;

– зміни рекламної політики (зміна форм подання реклами – преса, телебачення). Рекламна інформація повинна підкреслювати сильні сторони екологічного продукту. При цьому реклама повинна торкатися як зміни самого продукту по відношенню до його попереднього стану, так і порівняння продуктів одного цільового напрямку;

– зміни упаковки. Взагалі упаковка товару повинна відповідати екологічним вимогам. Вона виконує захисну функцію (захищає товар від ушкодження) та інформаційну (служить як інструмент отримання виробничої інформації);

– зміни продажу товару (збільшення обсягу продажу на існуючому сегменті ринку, пошук нових каналів розподілу товару);

– сервісу (прискорення доставки товару, розширення технічної допомоги покупцям, надання більшого кредиту);

– зміни марочної політики.

2. Модифікація товару. Передбачає зміну таких характеристик товару, як :

– покращення якості (поліпшення функціональних характеристик, а саме подовження строку служби, покращення екологічних властивостей товару);

– модернізація товару (підвищення зручності, спрощення процесу використання). Модернізація товару є ефективним засобом у боротьбі з конкурентами, бо посилює довіру покупців до товару, підвищує інтерес компанії до своєї роботи;

– зміна зовнішнього оформлення, дизайну товару (зміна оформлення, упаковки). З розробленим певним стилем товар буде відразу відрізнятися від товарів конкурентів. Хоча важко передбачити, що саме сподобається споживачам.

3. Модифікація ринку. Тут здійснюється пошук нових споживачів товарів або зміцнюють позиції старих товарів. Залучення нових споживачів можна здійснювати наступними способами:

– пошук нових географічних ринків або сегментів;

– перетворення принципових противників товару на активних його користувачів;

– переманювання на свою сторону споживачів товарів конкурентів.

Етап спаду. Цей етап характеризується зниженням попиту на екологічні товари, обсягу продажу та прибутку. Причиною може бути зміна переваг покупців, технологічне відставання, поява на ринку нових конкурентів.

У цьому випадку виробники можуть зменшити ціну, скоротити маркетингові програми, змінити упаковку або припинити випуск і покинути ринок.

Дуже важливе значення в еколого-економічній діяльності підприємства має оцінка життєвого циклу екологічних товарів.

Оцінка життєвого циклу визначається як: «об'єктивний процес оцінки поєднання довкілля з навантаженням з продукцією, процесами чи діяльністю; ідентифікації і кількісного визначення енергії, матеріалів та енергії на довкілля; визначення можливостей впровадження довкілля удосконалень. Оцінюванню підлягає суцільний життєвий цикл продукції, процесів чи діяльності; добування чи використання сировини; виробництво, транспортування, розповсюдження, використання, повторне використання, переробка чи остаточне знищення» [2].

Вперше термін «оцінка життєвого циклу» виник в 60-70-х роках, коли почались дослідження з економного використання енергії, сировини; обліку викидів та відходів у різноманітних виробничих процесах; енергетичній системі чи пакуванні [2].

Оцінка життєвого циклу екологічного товару має особливість, яка містить у собі те, що цей інструмент дозволяє сконцентрувати увагу на екологічних впливах, пов'язаних з виробництвом та споживанням продукції підприємства. Дані впливи досліджуються протягом всього життєвого циклу товару, а саме від придбання сировини підприємством до виробництва продукції, її використання та утилізації.

Призначення методу оцінки життєвого циклу екологічного товару містить у собі наступне:

1. Покращення екологічних аспектів продукції на різних стадіях її життєвого циклу.

2. Прийняття рішень у промислових, державних та недержавних організаціях (при стратегічному плануванні, визначенні пріоритетів, проектуванні продукції).

3. Вибір відповідних показників екологічної ефективності.

4. Маркетинг (екокомунікації, екомаркування).

Основними стадіями аналізу є життєвого циклу екологічного товару є:

1. Визначення відрізків життєвого циклу продукції, а саме цілі, масштаби, обмеження.

2. Оцінка енергетичних та матеріальних ресурсів, які використовуються для виробництва продукту, викидів у повітря і воду, забруднення ґрунтів, а також екологічних збитків.

3. Оцінка загального впливу на навколишнє середовище (вплив на здоров'я людини,

екологічні впливи, вичерпність ресурсів, зміни у довкіллі).

4. Визначення порядку та формулювання стратегії для покращення кожної стадії життєвого циклу продукції, а саме оцінка потреб і можливостей в удосконаленні використання енергії, сировини та відходів.

Концепція життєвого циклу екологічного товару описує збут продукту, прибуток, конкурентів з моменту надходження товару на ринок і до його зняття з ринку. Життєвий цикл екологічного товару може бути представлений як визначена послідовність стадій існування його на ринку, що має визначені рамки. Динаміка життя екологічного товару показує обсяг продажів у кожен визначений час існування попиту на нього. Оцінка життєвого циклу екологічного товару дозволяє вітчизняним підприємствам працювати на зовнішніх ринках, підвищувати свою конкурентоспроможність у ринковій економіці.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ілляшенко, С. М. Маркетинг: бакалаврський курс [Текст]: навч. посібник / С. М. Ілляшенко. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2004. – 976 с.
2. Ehrelefeld. A «Green Company»: The Importance of Culture in the Greening Process [Текст] / Ehrelefeld, Hofman // The Greening of Industry Conference, Boston, November 18-20, 1993.
3. Екологічний маркетинг [Текст]: навч. посібник / А. М. Вічевим та ін. – Львів: УкрДЛТУ, 2002. – 248 с.
4. Липчук, В. В. Маркетинг: основи теорії та практики [Текст]: навч. посібник / В. В. Липчук, А. П. Дудяк, С. Я. Бугіль. – Львів: «Новий Світ-2000», 2004. – 288 с.
5. Пахомова, Н. В. Экологический менеджмент [Текст] / Н. В. Пахомова, А. Ендерс, К. Рихтер. – СПб.: Питер, 2003. – 544 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.

ФТОРТЕНЗИДОВМІСНЕ ПЛІВКОУТВОРЮЮЧЕ ПОКРИТТЯ ЯК ЗАСІБ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛЕГКИХ ФРАКЦІЙ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СПОЛУК В РЕЗЕРВУАРАХ

Проаналізовано склад та властивості фтортензидовмісного захисного покриття як засобу від випаровування легких фракцій бензинів при їх довгостроковому зберіганні в резервуарах, проведено дослідження взаємодії між собою складових компонентів композиції захисного покриття та розраховані їх ІЧ-спектри квантово-хімічним методом з використанням пакета програм Hiperchem.

Проанализированы состав и свойства фтортензидного защитного покрытия как средства от испарения легких фракций бензинов при их длительном хранении в резервуарах, проведены исследования взаимодействия составляющих компонентов защитного покрытия между собой и рассчитаны их ИК-спектры квантовохимическим методом с использованием пакета программ Hiperchem.

The composition and properties of fluorosurfactant protective coating against evaporation of light fractions of petrols during their long-term storage in reservoirs are analysed, the research of protective coating components interaction is conducted, and their IR-spectra are computed by a quantum-mechanical method using Hiperchem program package.

В умовах сьогодишніх енергетичної та екологічної криз, що зумовлені постійно зростаючим дефіцитом легкодоступних енергоресурсів та техногенним навантаженням на довкілля, пошук нових наукових підходів і технологічних рішень зменшення втрат енергоресурсів і рівня забруднення навколишнього середовища є надзвичайно актуальною задачею. Її актуальність особливо загострюється з огляду на значну питому вагу нафти і нафтопродуктів в енергетичному балансі України [1], зокрема, в забезпеченні функціонування промисловості і транспорту, з іншого боку, незалежно від виду втрат рідких нафтопродуктів, урешті-решт всі вони потрапляють до атмосфери, що негативно впливає на навколишнє середовище та людину.

За різними оцінками на шляху від свердловини до паливних баків транспортних засобів втрати рідких вуглеводнів становлять від 3 до 5 %. З огляду на це світовою практикою накопичено значний досвід захисту рідких вуглеводнів від випаровування шляхом [2]:

- зменшення об'єму газового простору над паливом,
- скорочення амплітуди коливання температури паро-повітряної суміші резервуара,
- збільшення надлишкового тиску при зберіганні нафтопродуктів,
- застосування різних систем вловлювання пари нафтопродуктів.

Сьогодні для зниження втрат легких фракцій вуглеводневих рідин запропоновано і застосовується досить багато методів та пристроїв,

кожен з яких має певні недоліки та переваги, але всі вони не забезпечують повного унеможливлення процесів випаровування нафтопродуктів [3, 4, 5, 6].

Одним із перспективних методів вирішення проблеми випаровування легких фракцій вуглеводневих рідин під час їх тривалого зберігання є використання поверхнево-активних речовин (ПАР) різних класів та створення захисного плівкоутворюючого покриття на їх основі.

Тому метою нашої роботи було створення ефективного стабільного захисного покриття для зменшення випаровування вуглеводневих рідин при їх тривалому зберіганні на основі дослідження властивостей широкого спектру поверхнево-активних речовин, створення умов для їх стабілізації на поверхні вуглеводнів, виявлення механізму взаємодії складових компонентів між собою.

Після проведення патентного та літературного пошуку нами насамперед були сформульовані ряд вимог до захисного покриття з усуненням недоліків попередніх розробок [7].

Початковим кроком у розробці складу покриття, що відповідає поставленим вимогам, був пошук молекулярних структур та встановлення взаємозв'язку між структурою та ізолюючою властивістю молекул.

На основі експериментальних досліджень знайдено склад композицій, здатних утворювати стійкі та ефективні покриття. Нерозчинний полімерний комплекс було одержано з аніонної поліози та катіонної ПАР, при цьому було мо-

жливим включення до його складу іонного полімеру, іонної фторованої ПАР однієї або більше неіоногенної ПАР, зшивача і води. Наявність такої суміші стимулює процес формування змішаних міцел у водному розчині. Склад покриття, що включає достатню кількість полімеру, неіоногенної ПАР, зшивача і води, макси-

мізує електропритягання між змішаними міцелами ПАР та полімером, не спричинюючи осадження комплексу покриття.

Серед ПАР, з якими проводили дослідження, слід виділити неіоногенні ПАР (твіни) – продукти приєднання етиленоксидів до моноестера сорбітону та жирної кислоти:

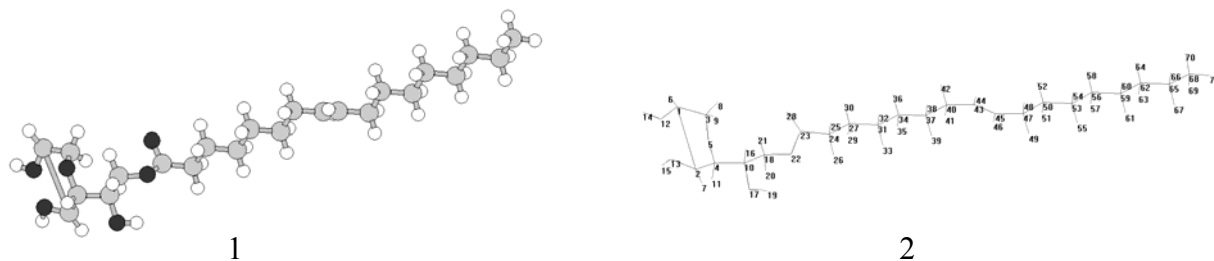


Рис. 1. ІЧ-спектри складових захисного плівкоутворюючого покриття № І:
1 – суміш: AFFF та твін-80; 2 – спектр AFFF; 3 – твін-80

Неіоногенні ПАР не дисоціюють у воді на іони. Їх розчинність зумовлена наявністю у молекулах гідрофільних ефірних та гідроксильних груп, найчастіше всього поліетиленгліколієвого ланцюга [8]. При їх розчиненні утворюються гідрати внаслідок утворення водневого зв'язку між кисневими атомами поліетиленгліколієвого залишку та молекулами води.

Змочувальна здатність неіоногенних ПАР залежить від структури; оптимальні змочувальні властивості мають ПАР розгалуженої будови [9]. Вони добре сумісні з іншими ПАР – фтортензидами (фторованими поверхнево-активними речовинами (ФПАР)), неполярна частина молекул яких містить фторвуглеводневий радикал, на які розповсюджується класифікація ПАР, а також номенклатура та класифікація фторорганічних сполук). Фтортензиди – перфтор-, або поліфторзаміщені ПАР – мають значно переважні властивості, як відповідні незаміщені ПАР з хімічної та термічної стійкості, мають більшу поверхневу активність у водних середовищах [10]. Наприклад, фторвуглеводневі сульфонати стійкі в концентрованих розчинах сильних кислот, $t_{\text{розкл.}} > 350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найкращі антипожежні властивості має піноутворювач «легка вода», здатна створювати на палаючій поверхні тонку прозору плівку. Це розчин амонійних солей – аміноалкіламідів перфторкарбонових та перфторалкансульфокислот або деяких інших поліфторвмісних амідосульфонатів. Для деяких фтортензидів критична

концентрація міцелоутворення 14...18 мН/м [11].

Було проведено дослідження компонентів захисного покриття між собою методом ІЧ-спектроскопії. Інфрачервоні спектри записували на приладі Thermo Nicolet NEXUS. Для цього рідкі індивідуальні компоненти та їх суміш, що утворювала захисну композицію, розмішували в рідинній кюветі, у якій використовувались віконця з бромистого калію. Як приклад, на рис. 1 наведені інфрачервоні спектри індивідуальних складових покриття (2,3) та покриття (1).

Як видно зі спектру 1, що AFFF взаємодіє з твіном і при цьому смуга поглинання 1746 cm^{-1} , що відповідає карбонільній групі, зміщується до 1640 cm^{-1} з утворенням органічної сполуки за рахунок водневих зв'язків. Слід відзначити, що інтенсивність смуги поглинання 1640 cm^{-1} зростає порівняно з початковим спектром AFFF.

Для віднесення смуг поглинання в ІЧС індивідуальних компонентів та покриття були розраховані ІЧ-спектри квантовохімічним методом з використанням пакету програм Hyperchem [12]:

- виявлено, що між неіоногенними та фтортензидовмісними ПАР утворюються органічні стійкі сполуки, що стабілізуються полівініловим спиртом.

- виконано віднесення смуг поглинання до певних коливань атомів в молекулах рис. 2-5:

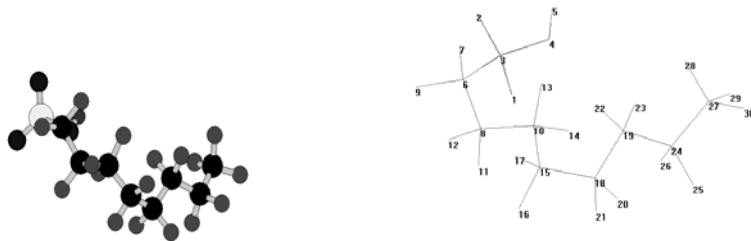


Рис. 2. Молекула $C_8F_{14}SO_3H$

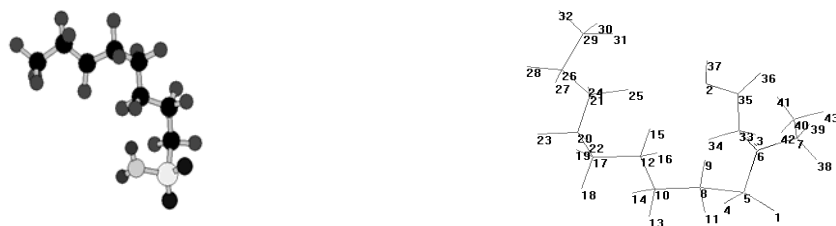


Рис. 3. Молекула $R_fSO_2NH_2$



Рис. 4. Молекула $R_fSO_2N(R)CH_2COOH$

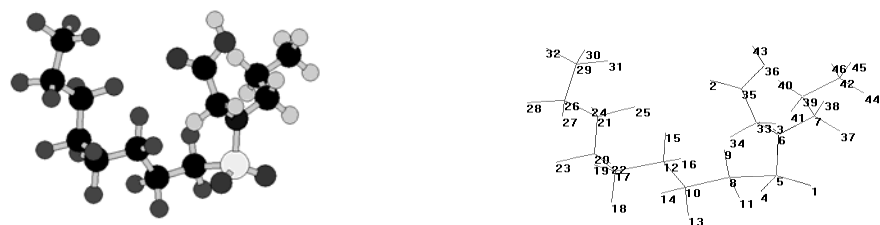


Рис. 5. Молекула $R_fSO_2N(R)CH_2CH_2COOH$

Смуги поглинання «Твін-80»

№	NIST	ICH	Hyperchem	I	Віднесення смуг поглинання
1	3412		3897,73	4,813	17-19
2			3183,36	0,018	70-68-69-71
3			3086,34	0,002	70-68-69-71
4			3044,87	2,648	6-1-8
5			3019,52	0,052	42-40-41
6	2915	2927	2964	1,65	25-24-26-27-29-30
7	2857	2870	2884,78	0,859	4-11
8		2862	2837,08	0,098	10-16
9	1949	1967	1976,83	107,755	23-28
10	1736	1746	1891,09	0,006	43-45
11	1639	1643	1552,23	4,885	13-15-2-4
12	1464		1533,85	6,339	14-12-1-3-9
13	1351	1466	1443,64	0,109	24-27-31-34-40-43-45-47-50-53-56-59-62-65-68
14	1328	1354	1335,44	10,466	13-15; 4-5 1 деформаційні коливання
15			1288,61	14,412	3-5
16	1255	1254	1247,04	0,593	C-H по ланцюгу 24-...-68
17			1176,69	0,018	C-H по всьому ланцюгу і 5-4-11
18	1111	1049	1033,38	0,038	C-H по 40-42-43-44-45-46
19	943	953	967,2	4,864	17-18; 4-5 деформаційні коливання в кільці і головне 3-9;3-8;4-11; 2-4-10
20	885	887	922	4,233	43-44-45;3-8-9 деформаційні коливання позаплощинні 4-5-9
21	842	852	864,63	0,382	C-H по всьому ланцюгу
22			834,97	0,047	C-H 25-26;29-30;32-33;35-36;38-39;41-42;45-46;51-52
23			813,14	0,114	C-H по всьому ланцюгу
24	718	729	789,91	0,293	C-H по ланцюгу 24-26-25;29-30
	662		698,57	7,346	2-15;4-5;22-23
			627,56	7,617	22-23
			586,25	1,023	37-40; 43-45;45-47;47-50
			571,98	2,229	22-23;4-10;2-4;2-13 деформаційні коливання
			504,42	0,297	Деформаційні коливання по ланцюгу C-C 31-34;37-40 і т.д.

Результати розрахунків та віднесення смуг поглинання, як приклад, наведено в табл. 1.

Фторована ПАР малорозчинна у вуглеводнях та добре розчинна у воді, зменшує іонізуючу здатність та має таку величину густини, завдяки якій добре розподіляється на поверхні вуглеводневих рідин, створюючи захисну плівку. Фторована ПАР із неіоногенною складовою призводить до істотного зменшення поверхневого натягу вуглеводневої рідини. Неіоногенна ПАР до фторованої ПАР бралася у співвідношенні від 7:1 до 10:1, оскільки попередніми дослідженнями було встановлено, що за таких умов не відбувається осадження покриття. Зшивач має велику спорідненість до води, отже і велику розчинність у воді, збільшує товщину та механічну міцність покриття, підтримує формування структурованих рідких фаз у ньому,

покрощує еластичність покриття та збільшує текучість піни. Зшивач також підвищує сумісність концентрованого складу піни та запобігає осадженню покриття, збільшуючи товщину покриття та його механічну міцність.

Встановлено, що притягування ПАР/полімеру збільшує стабільність покриття. В якості полімеру використовувався полівініловий спирт [- CH₂ - CH(OH) -]_n термопласт мікрокристалічної структури; мол. м. 10...50 тис.; t_{ст} 57 °C; густина 1,29 г/см³; t_{розкл.} 220...235 °C (без плавлення); розчиняється в гарячій воді, гірше в гліколях; стійкий в маслах, жирах, в розчинах кислот і лугів [12].

Випробовування стабільності покриття проводили в екзотермічних умовах за схемою на рис. 6 (у температурному режимі 0...40 °C)

[13]. Склад покриття наносили на поверхню вуглеводневих сполук:

- н-Пентан
- н-Гексан
- н-Гептан
- н-октан
- Бензол
- Толуол
- н-нонан
- 2-метилпентан
- 2,2-диметилбутан
- 3-метилпентан
- 2,3-диметилбутан
- Циклогексан
- Ізооктан (2,2,4-триметилпентан)
- модельної суміші бензину
- бензину А-95

та визначали концентрацію пари вуглеводнів у повітрі над захисним покриттям.

Шар дослідної рідини 13 висотою 40 мм розміщували в комірці 11 і досліджували її випаровування при постійній температурі (інтервал досліджуваних температур 0...40 °С). Задану температуру підтримували термостатом 14.

Дослідна комірка виготовлена зі скляної трубки діаметром 50 мм та висотою 100 мм. Для того, щоб в системі досягти насичення повітря парою дослідної рідини, швидкість повітря, що проходило через комірку 11 підтримували рівним 0,5 мл/хв. Повітря подавали компресором 9 під постійним тиском, який регулювали маностатом 10. Утворена суміш повітря-вуглеводнева рідина проходила через термостатований об'єм, під'єднаний до крана дозатора 4. Швидкість потоку повітря, що проходило через дослідну комірку, вимірювалось реометром 8. Газ-носії (гелій з балона 1) подавався через кран дозатора 4 на хроматографічну колонку 6, на якій проходило розділення суміші повітря-гексан і в подальшому на детектор за теплопровідністю – катарометрі 7. При переключенні крана дозатора 4, як зображено пунктиром, потік газу-носія проходив через дозуючий об'єм 5 і виштовхував з нього суміш повітря та гексану на хроматографічну колонку 6, де відбувалось їх розділення з подальшим визначенням кількості речовини на детекторі за теплопровідністю – катарометрі 7.

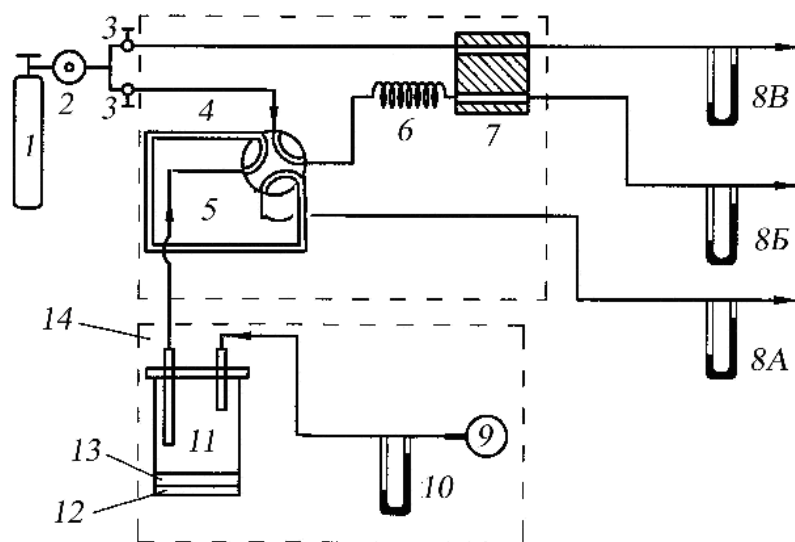


Рис. 6. Схема експериментальної установки:

- 1 – балон з гелієм; 2 – редуктор; 3 – регулятор потоку газу; 4 – шестиходовий кран-дозатор; 5 – дозуючий об'єм; 6 – хроматографічна колонка; 7 – детектор-катарометр; 8 – реометр (вимірювач швидкості потоку); 9 – компресор; 10 – маностат; 11 – комірка для дослідження процесу випаровування; 12 – шар ПАР; 13 – вуглеводнева рідина; 14 – термостат

Отже поставлену задачу зменшення втрат від випаровування вуглеводневих рідин при їх довготривалому зберіганні нами вирішено шляхом створення стійкого покриття, до складу якого входять неіоногенна ПАР, фторвмісна ПАР, полімер та вода, яке працює в діапазоні температур 0...40 °С протягом року.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Козин, Л. Ф. Современная энергетика и экология: проблемы и перспективы [Текст] / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. – К.: Наук. думка, 2006. – 772 с.
2. Коршак, А. А. Современные средства сокращения потерь бензинов от испарения [Текст]. –

- Уфа: ООО «Дизайн Полиграф Сервис», 2001. – 144 с.
3. Банников, А. Г. Охрана природы [Текст] / А. Г. Банников, А. К. Рустамов, А. А. Вакулин. – М.: Агропромиздат, 1985.
 4. US Patent № 5265651 Int. Cl. B65D 88/46 / T. K. Perkins, S. Thach / Foam reduction of vapor emissions from storage tanks [Текст]. – Publ. 30.11.1993.
 5. US Patent № 3943721 Int. Cl. B65D 88/46 / P. J. Azalbert, A. Tassin, J. C. Pech, H. Christian / Reservoir for storing hydrocarbon liquids and process for fabricating the same [Текст] – Publ. 03.06.1976.
 6. US Patent № 4035149 Int. Cl. B65D 88/46 / P. R. Scott, W. D. Johnston, K. L. Jerome / Vapor barriers for liquid conservation [Текст]. – Publ. 07.12.1977.
 7. Спаська, О. А. Зменшення випаровування вуглеводневих рідин плівкоутворюючими пінами [Текст] / О. А. Спаська, С. В. Бойченко, С. В. Іванов // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. – № 1. – С. 119-123.
 8. Файнгольд, С. И. Успехи коллоидной химии [Текст] / С. И. Файнгольд, В. П. Тихонов; под ред. И. В. Петрянова-Соколова и К. С. Ахмедова. – Ташкент, 1987.
 9. Промышленные фторорганические продукты [Текст]: справочник. – Л., 1990. – С. 367-403.
 10. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии [Текст], [пер. с англ.]. – М., 1980.
 11. Мацуо, М., в кн.: Соединения фтора: синтез и применение [Текст] / М. Мацуо, С. Отоси; под ред. Н. Исикава, [пер. с япон.]. – М., 1990. – С. 157-182.
 12. Шиц, Л. А. Справочник химика [Текст]. – Т. 1 / Л. А. Шиц. – М.-Л.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. литературы, 1962.
 13. Вигдергауз, М. С. Газовая хроматография как метод исследования нефти [Текст] / М. С. Вигдергауз. – М.: Наука, 1973. – 256 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.

О. І. БЕЗБАБІЧЕВА, М. В. РОЗЕНФЕЛЬД, О. Г. КІСЛОВ (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ І НАПРУЖЕНЬ В МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ З ДОРОЖНІМ ОДЯГОМ ВІД КЛІМАТИЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВПЛИВІВ

Пропонуються порядок розрахунку теплових потоків на горизонтальні та вертикальні поверхні мостів для прийняття їх у якості граничних умов для визначення температурних напружень від кліматичних впливів.

Предлагается порядок расчета тепловых потоков на горизонтальные и вертикальные поверхности мостов для использования их в качестве граничных условий при определении температурных напряжений от климатических факторов.

The estimation order of thermal streams on the horizontal and vertical surfaces of bridges is offered. The data of estimation can be used as boundary conditions at determination of the dependence of temperature tensions on climatic factors.

В мостах, як у будь-яких багатокомпонентних системах, можна виділити елементи з найменшою довговічністю: шари покриття дорожнього одягу проїзної частини, деформаційні шви, гідроізоляція. Відомо, що при передчасному руйнуванні цих елементів прискорюються процеси корозії в несучих елементах мостових споруд. Однією з можливих причин передчасного руйнування матеріалів є недоврахування реальних умов роботи матеріалів в складі конструкції.

Для мостів і шляхопроводів одним з постійно діючих навантажень є температурні впливи: під час терміну служби – змінні кліматичні впливи, а під час улаштування покриттів з гарячих сумішей – додаткові теплові навантаження. При вирішенні задач кліматичної температурної напруженості конкретної мостової споруди потрібно враховувати багато складових теплообміну (теплове випромінювання атмосфери, розсіяне сонячне випромінювання, пряме сонячне випромінювання, температуру повітря, швидкість вітру, теплове випромінювання споруди, теплове випромінювання від оточуючого середовища, відбивання прямого і розсіяного сонячного випромінювання, атмосферні опади). Деякі фактори теплообміну піддаються безпосередньому вимірюванню і доступні. Особливо цінними є довгострокові експериментальні дослідження розподілу температур в елементах мостових споруд за допомогою спеціального обладнання (рис. 1). Такі дані необхідні для визначенні початкових умов при вирішенні задачі теплопровідності у перерізі моста при виконанні розрахунків температур-

них полів та напружено-деформованого стану від кліматичних і технологічних факторів.

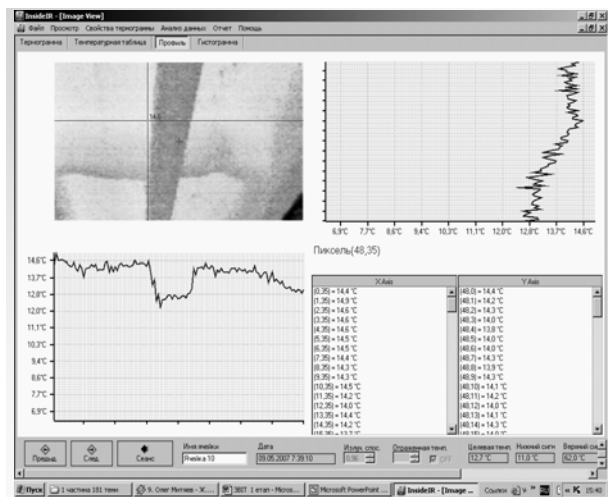


Рис. 1. Дослідження температурного розподілу приладом FLUKE Ti20 (низ ребристої балки діафрагмової прольотної будови шляхопроводу через Московський проспект, м. Харків)

При виконанні таких розрахунків можна застосовувати просторові (3D) або двовірні (2D) моделі, що вирішуються методом кінцевих елементів. Розрахунки можуть здійснюватися програмними комплексами, які передбачають вирішення задач термопружності, наприклад, T-FLEX/ИСПА, APM Structure3D, ЛІРА, SCAD, ANSYS, FEMLAB (COMSOL) та ін.

До кінцево-елементної моделі прольотної будови додаються граничні умови у вигляді теплових потоків, які потрібно визначати в залежності від географічного розташування споруди, її положення на місцевості, періоду року та часу доби.

При розрахунках мостових конструкцій на дію кліматичних температурних впливів слід розглянути такі випадки:

- швидке зниження температури оточуючого середовища до абсолютної мінімальної температури району будівництва, яке приймається за даними СНиП 2.01.01 для максимальних добових амплітуд температури зовнішнього повітря, при ясному небі в нічний період (до сходу сонця);

- однобічне нагрівання конструкції у залежності від її орієнтації за напрямками сторін світу. Приклад результату розрахунку напружено-деформованого стану крайньої балки прольотної будови від різниці температур внаслідок однобічного нагрівання сонячним випромінюванням наведений на рис. 2.

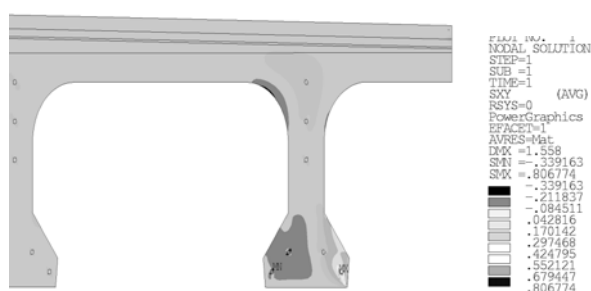


Рис. 2. Приклад поля напруження в горизонтальному напрямку при однобічному нагріванні

Початковий розподіл температур по перерізу для подібних розрахунків рекомендується приймати за даними замірів для існуючих споруд. При відсутності таких даних середня по перерізу нормативна температура та розподіл температур приймаються:

- за п. 2.33 та п. 4.108 ДБН В.2.3-14 для залізобетонних та сталевих конструкцій;
- за п. 5.10 ДБН В.2.3-14 для сталезалізобетонних конструкцій.

Розрахунки напружено-деформованого стану прольотних будов з дорожнім одягом при швидкому зниженні від'ємної температури оточуючого середовища до абсолютної мінімальної температури виконують із застосуванням відповідних до цих температур характеристик міцності матеріалів шарів. Загальний напружено-деформований стан слід оцінювати при сумісній дії такого температурного навантаження і тимчасового рухомого навантаження.

Розрахунки температурних полів і напружень, що виникають при однобічному нагріванні конструкції, виконують:

- для дня року, що приблизно відповідає умовам найбільш спекотної доби;
- для весняного періоду при суттєвій різниці між нічною та денною температурою повітря.

При цьому задаються теплові потоки, що поглинаються бічною поверхнею в залежності від її похилості, кольору та матеріалу з урахуванням конструктивних особливостей, наприклад, довжини консолей.

Порядок розрахунку теплових потоків для всіх указаних випадків наведений в «Рекомендаціях з розрахунку температурних полів і напружень в мостових конструкціях з покриттям», які нещодавно були розроблені ХНАДУ за замовленням Державної служби автомобільних доріг України.

В табл. 1 наведені результати розрахунку теплових потоків на горизонтальну поверхню споруди, яка розташована на 50° північної широти для 6 червня в різні часи доби.

Таблиця 1

Щільність теплового потоку на горизонтальну поверхню

Час доби, (год.)	Сумарна щільність теплового потоку, Вт/м ²	
	Бетонне покриття	Асфальтобетонне покриття
9	468,8	628,7
10	562,1	749,3
11	619,1	823,3
12	636,4	846,1
13	615,3	819,5
14	554,8	742,0
15	458,5	618,4
16	333,9	458,3
17	192,1	275,9
18	52,2	95,8

При розрахунках просторових моделей з улаштування гарячих покриттів в літній період року слід враховувати додаткові теплові потоки, які діють на горизонтальну поверхню споруди. Найбільш небезпечними розрахунковими випадками слід вважати укладання гарячої асфальтобетонної суміші на половині проїзної частини на значній довжині, а також укладання товстих шарів гарячої суміші.

Таким чином, на етапі проектування споруди можливо прогнозувати напружено-деформований стан її елементів, в тому числі багатошарових, при розрахункових температурах, що діють на етапах улаштування та подальшої експлуатації. Результати розрахунків напружено-деформованого стану елементів дозволять приймати конструктивні рішення і матеріали згідно з визначеними критеріями.

Надійшла до редколегії 11.10.2007.

В. И. БОЛЬШАКОВ, Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО, Ю. Н. ФЕДОРЧЕНКО,
Л. С. САВИН, Е. Ю. САВИН (ПГАСА)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ГРУНТОВЫХ ЭМАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДИАГОНАЛЬНОЙ АНАЛОГИИ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГОМОЛОГИИ ЭЛЕМЕНТОВ

У статті розглянуто теоретичні основи синтезу скло емалей, виходячи із сучасних положень фізико-хімії. Основну увагу приділено закономірностям, пов'язаним із положенням аніонних складових сполук. При цьому діагональна аналогія і вертикальна гомологія грають найважливішу роль при створенні склоемалевих композицій.

В статье рассмотрены теоретические основы синтеза стеклоэмалей, исходя из современных воззрений физико-химии. Основное внимание уделено закономерностям, связанным с положением анионных составляющих соединений. При этом диагональная аналогия и вертикальная гомология играют важнейшую роль при создании стеклоэмалевых композиций.

In the article theoretical bases of the syntheses of glass-enamel coming from modern concepts of physico-chemistry are considered. The main attention is paid to the regularities related to position of anion parts of compounds. In this context the diagonal analogy and vertical homology play the most important role in producing the glass-enamel compositions.

Продолжительное время новые составы эмалей создавались на основе использования теоретических достижений науки о стекле. В основу был положен принцип аддитивности, согласно которому физико-химические свойства стекла и покрытия зависят от концентрации различных компонентов в эмалевой фритте. При этом не в полной мере учитывалась связь между основными внутренними параметрами соединений, недостаточно обосновывалась замена одного компонента другим без учета представлений о строении атома, типе химической связи, энергетической характеристике, показателе термической прочности вещества. В настоящее время принцип аддитивности и схема «состав-свойство» практически исчерпали свои возможности. Поэтому при создании новых составов эмалей необходимо изменять методические начала исследований и разработать подход, учитывающий связь между основными внутренними параметрами исходных неорганических веществ, а также вертикальную гомологию и диагональную аналогию элементов, образующих данные соединения. При этом объяснения всем физико-химическим явлениям следует основывать на современных представлениях электронных структур атомов, т.к. электронным строением определяются размеры атомов или ионов – орбитальные и кристаллохимические (ковалентные, металлические, вандер-ваальсовы) радиусы атомов. Последние,

в свою очередь, обуславливают значения кристаллохимических параметров [1, 2, 3].

Метод замены одного компонента другим играет в химической технологии большую роль, но применять его надо с учетом особенностей, присущих каждому отдельному случаю. Так, сопоставляя хлор с кислородом и фтором, можно заметить сходство атомов этих трех элементов, состоящее в том, что они обладают большими ионизационными потенциалами, то есть являются плохими катиогенами (электроно-донорами); в то же время их можно считать не только десмогенами, образующими атомные связи, но и аниогенами в том смысле, что они способны притянуть к своим нейтральным атомам электроны и образовать F^- , Cl^- , O^{2-} . Эти анионы входят в состав ионных химических соединений: фторидов, хлоридов, оксидов.

Учитывая, что проектирование новых стекол и защитных покрытий на их основе проводится с использованием метода замены оксидов на хлориды и фториды, целесообразно сопоставить свойства хлора и фтора по вертикальной гомологии, а хлора с кислородом по диагональной аналогии. Фтор ($1s^2 2s^2 2p^5$) имеет один неспаренный электрон, характеризуется степенью окисления минус один. Максимальная ковалентность его равна четырем.

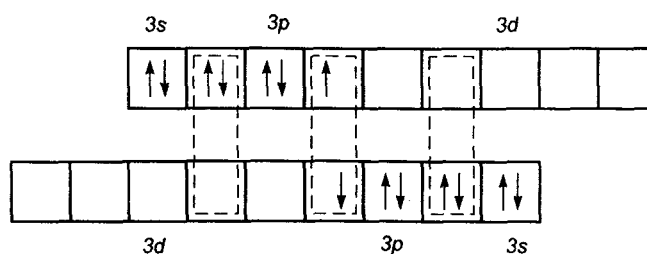
Хлор ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$) характеризуется наличием одного неспаренного электрона, чем и предопределяется его сходство с фтором по

вертикальной гомологии. Для хлора, как сильно электроотрицательного (ОСЭ = 3,16) элемента, характерно состояние окисления минус один. В соединениях же с более электроотрицательным фтором (ОЭО=3,98), кислородом он проявляет положительные степени окисления. Особенно разнообразны соединения хлора с кислородом, в которых степени окисления хлора принимаются равными I, III, V и VII.

Некоторые сведения о вертикальных гомологах пары фтор-хлор приведены в табл. 1.

Подобно фтору, молекула хлора двухатомна. Но, в отличие от F₂, в молекуле хлора имеет место дополнительное π-связывание.

Последнее возникает по донорно-акцепторному механизму за счет неподеленной электронной пары одного атома и свободной 3s¹-орбитали другого.



Согласно представлениям Щукарева [4], возможность частичного заселения 3d-орбитальных позиций в молекуле хлора связана с небольшими значениями энергий перехода от 3p до 3d-уровней. Считается, что кратность связи в молекуле хлора составляет 1,2. π-связь заметно упрочняет молекулу и поэтому энергия диссоциации Cl₂ оказывается больше (239 кДж/моль), чем у F₂ (151 кДж/моль). Поскольку на связывающих орбиталях имеется на два электрона больше, чем на разрыхляющих, кратность связи в молекуле F₂ принимается равной 1.

Для элементов пары хлор-фтор обнаруживается существование сходства, состоящего в том, что нейтральные атомы F и Cl имеют семь внешних электронов. Такого рода сходство, в основе которого лежит один и тот же тип внешней оболочки атома, прототипом которого является семизлектронный в наружном слое атома фтора, повторяется у хлора. Отсюда вытекает формальное сходство возможных степеней окисления-восстановления и химических формул. Так, например, для соединений элементов одного и того же вертикального столбца имеется первая степень окисления и общая формула их для всех галогенидов щелочных металлов (MeX). Такое сходство в ряде случаев

Таблица 1

Свойства вертикальных гомологов

Параметры	Фтор	Хлор
Температура плавления, °С	-223	-100,48
Температура кипения, °С	-187	-34,15
Межъядерное расстояние в молекуле Э ₂ , 10 ⁻¹⁰ нм	1,42	2,00
Силовая константа связи, Э-Э	4,50	3,2
Энергия диссоциации Э ₂ , кДж/моль	151	239
Нормальный потенциал Э ₂ + 2e → 2Э, В	2,85	1,36

бывает лишь внешним, скорее формально количественным или качественным.

Функциональные различия химических элементов-гомологов зависят от существенных, специфических их характеристик. Так, значения ионизационных потенциалов и сродства к электрону у фтора и хлора неодинаковы (количественная разница). Между этими элементами имеется и более существенное различие – качественное. Во внешней оболочке атома фтора, кроме занятых электронами семи вакансий, имеется в том же слое еще только одна свободная, а хлор, кроме занятых 3s²p⁵-мест и свободной p-вакансии, в том же третьем слое имеет еще 10 вакансий с символом 3d не слишком далеких по своей энергии от 3p-орбиталей. Эти вакансии в нормальной последовательности свободных атомов элементов системы заполняются лишь в IV периоде после того, как два 4s-электрона четвертого слоя займут свои места в атомах К и Са и тем самым передвинут 3d-орбитали на более глубокие энергетические позиции. Некоторые 3d-вакансии у хлора смещаются в силовом поле лиганд в более выгодное энергетическое положение и могут быть заняты электронами, которые переходят от неразделенных пар атомов лиганд, например, от атомов кислорода присоединяют к хлору. Переход на 3d-орбитали можно представить себе

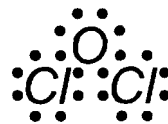
и при возбуждении собственных 3s или 3p-электронов атомов хлора. Возможное участие d-орбиталей в химических связях создает совершенно новую (совсем отсутствующую у фтора) склонность к повышению координационного числа. Кроме того, наблюдаются особые

соотношения для энергий и природы химических связей, а также повышаются степени окисления и координационные числа хлора по сравнению с фтором.

Нормальные атомы фтора и хлора с кислородом образуют оксиды:

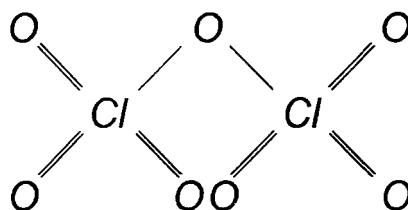


Рассмотренные соединения по форме гомологически сходны друг с другом, но по внутреннему содержанию качественно отличны: фтор, стоящий в правом верхнем углу таблицы элементов, не может быть окислен; даже кислород для него является восстановителем. Хлор в оксиде Cl_2O , наоборот, находится на первой степени окисления [5].



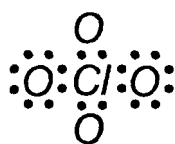
Хлор, в противоположность неспособному к окислению фтору, может повысить свою степень окисления от +1 до +7 при соединении с кислородом.

Координационное число окисленного хлора достигает четырех, координационное число фтора максимально равно двум [4].



Уменьшенная способность фтора к окислению, то есть к отдаче электронов, объясняется большей прочностью связи его электронов с ядром по сравнению с O или Cl; у фтора для возбуждения электронов, сопровождаемого нарушением электронных пар и появлением одиноких электронов, требуется больше энергии, чем для возбуждения электронов кислорода и хлора. Все это зависит от большего заряда ядра

по сравнению с ядром кислорода и от более близкого расстояния внешнего электрона хлора от ядра этого атома (третий слой от ядра). Кроме того, существенно отсутствие d-вакансии во внешнем (втором) слое атома фтора и необходимость при возбуждении атома фтора направлять электрон второго слоя в третий, что требует чрезмерно большей работы [3–6].



Таким образом, сходство по гомологии в вертикальном столбе системы состоит в повторении (и то неполном) форм соединений: OF_2 , HF, Cl_{120} , HCl, но может в то же время функционально быть связано с проявлением больших химических различий.

Сходство по аналогии характерно для диагоналей системы. Элементы, приходящиеся на одну и ту же диагональ, принадлежат к различным группам (например, O и Cl) и гомологического сходства форм соединений проявлять не будут, достаточно для этого сравнить формулы H_2O и HCl. В то же время по своим химиче-

ским функциям O и Cl во многом сходны, и их сопоставление имеет глубокий интерес и значение.

Для этого периодическая система элементов разворачивается [4] на 45° так, что главная диагональная ось A-B, идущая через F, S, As, Sk, Tl, Ra, Ec-Fr сделана вертикальной; диагонали, перпендикулярные к главной оси, можно сравнить как бы с ребрами системы: они горизонтальны (рис. 1).

Рассмотрим свойства элементов диагональных серий.

Литий начинает серию элементов-восстановителей: эти элементы Li, Mg, Ga, Sn, Bi частично базогены (образователи оснований), частично ацидогены (образователи кислот); так, литий и магний дают оксиды основные и гидрооксиды; для остальных членов этой серии характерна некоторая амфотерность и даже пе-

реход к кислотной функции (оловянная и висмутовая кислоты). Простые вещества в данном ряду – металлы; они являются преимущественно катионогенами, но последние члены серии (особенно Sn и Bi) способны образовывать анионы.



Рис. 1. Характеристика диагональных разрезов периодической системы Д. И. Менделеева

Порядковые номера элементов-аналогов серии (Li - Bi) табл. 2, а именно 3, 12, 31, 50 и 83 отличаются друг от друга на 9, 19, 19 и 33 единицы вместо обычной последовательности разностей гомологов в вертикальном столбце периодической системы, то есть 8, 18, 18, 32 (таковы, например, разности номеров для F, Cl, Br, I, At (табл. 3) по [4].

Серия, идущая от бериллия Be, Al, Ge, Sb, Pb, также характеризуется восстановительной способностью; эти элементы проявляют в виде простых веществ металлические свойства, хотя в отдельных случаях (Ge) встречаются и полупроводники.

Все элементы серии бериллия способны образовывать не только катионы, но и анионы, то есть могут проявлять амфотерность. Оксиды их также амфотерны, то есть обладают переходными свойствами – слабоосновными и слабокислотными.

Диагональная серия, возглавляемая бором, представлена элементами: B, Si, As, Te, At. В виде простых веществ они проявляют свойства полупроводников – веществ, промежуточных между металлами и диэлектриками. В химическом отношении они играют роль главным образом восстановителей, хотя и образуют почти исключительно анионы. Оксиды их и гидраты оксидов слабокислотны.

Пара элементов O и Cl – окислители, анионогены и ацидогены (образователи кислот).

Переходя к сравнению хлора и кислорода как диагональных аналогов, сходных по окислительной способности, следует отметить, что энергии разрыва химической связи между H и Cl, H и O в молекулах HCl и H₂O почти равны друг другу (газ и 419 кДж), а в случае сравнения HCl и H₂O также близкие (газ и в среднем 462,9 кДж).

Различие в энергии связей H-Cl и H-F (569,8 кДж) больше, чем для Na-Cl и Na-F (411,3 и 480,3 кДж/моль).

Кислород и хлор, давая насыщенные соединения с водородом, неодинаковые по форме, образуют связи с приблизительно одинаковым выделением энергии.

В диагональной паре O-Cl нет сходства количественного, т.е. сходства алгебраических формул соединений, равенства числа внешних электронов, идентичности набора степеней окисления и восстановления, но зато есть сходство, связанное с химической функцией, сходство, зависящее не от равенства целочисленных характеристик (валентности и степеней окисления), а от качественной химической, функциональной близости. Эта последняя зависит в свою очередь от количественного сходства сложных нецелочисленных характеристик – сродства к электрону, эффективных ядерных зарядов. Диагональные аналоги являются следствием того, что движение вправо по ряду периодической системы повышает ионизацион-

ные потенциалы, а переход вниз по вертикальному столбцу уменьшает их [1, 2]. В результате и получается компенсация этих влияний, а от-

сюда и функциональное сходство свойств, лежащих на диагонали.

Таблица 2

Диагональные аналоги периодической системы элементов Д. И. Менделеева

Элемент	Группа	Порядковый номер	Строение внешнего электронного слоя	Периодичность электронных структур
Li	I	3	$2s^1$	-
Mg	II	12	$3s^2$	9
Ga	III	31	$4s^2 4p^7$	19
Sn	IV	50	$5s^2 3p^2$	19
Bi	V	83	$6s^2 6p^3$	33
Be	II	4	$2s^2$	-
Al	III	13	$3s^2 3p^1$	9
Ge	IV	32	$4s^2 4p^2$	19
Sb	V	51	$5s^2 5p^3$	19
Po	VI	84	$6s^2 6p^4$	33
Fr	VI	68	$4f^2 12s^2$	17
At	VII	85	$6s^2 6p^5$	32
B	III	5	$2s^2 2p^1$	-
Si	IV	14	$3s^2 3p^2$	9
As	V	33	$4s^2 4p^3$	19
Te	VI	52	$5s^2 5p^4$	39
At	VII	85	$6s^2 6p^5$	33
C	IV	6	$2s^2 2p^2$	-
P	V	15	$3s^2 3p^1$	9
Se	VI	34	$4s^2 4p^4$	19
I	VII	53	$5s^2 5p^5$	19
N	V	7	$2s^2 2p^3$	-
S	VI	16	$3s^2 3p^4$	9
Br	VII	35	$6s^2 6p^5$	19
O	VI	8	$2s^2 2p^4$	-
Cl	VII	17	$3s^2 3p^5$	9

Таблица 3

Вертикальные гомологи Периодической системы элементов Д. И. Менделеева

Элемент	Группа	Порядковый номер	Строение внешнего электронного слоя	Периодичность электронных структур
<i>I</i>	2	3	4	5
Li	1	3	$2s^1$	-
Na	1	11	$3s^1$	9
K	1	19	$4s^1$	9
Rb	1	37	$5s^1$	16

Таблица 3 (продолжение)

<i>I</i>	2	3	4	5
Cs	1	55	6s ¹	18
Fr	1	87	7s ¹	32
Be	2	4	2s ²	-
Mg	2	12	3s ²	8
Ca	2	20	4s ²	8
Sr	2	38	5s ²	18
Ba	2	56	6s ²	18
Ra	2	88	7s ²	32
B	3	5	2s ² 2p ¹	-
Al	3	13	3s ² 3p ¹	8
Ga	3	31	4s ² 4p ¹	18
Zn	3	49	5s ² 5p ¹	18
Tl	3 4	81	6s ² 6p ¹	32
C	4	6	2s ² 2p ¹	-
Si	4	14	3s ² 3p ²	8
Ge	4	32	4s ² 4p ²	18
Sn	4	50	5s ² 5p ²	18
Pb	4	82	6s ² 6p ²	32
N	5	7	2s ² 2p ³	-
P	5	15	3s ² 3p ³	8
As	5	33	4s ² 4p ³	18
Sb	5	51	5s ² 5p ³	18
Bi	5	83	6s ² 6p ³	32
O	6	8	2s ² 2p ⁴	-
S	6	16	3s ² 3p ⁴	8
Se	6	34	4s ² 4p ⁴	18
Te	6	52	5s ² 5p ⁴	18
Po	6	84	6s ² 6p ⁴	32
F	7	9	2s ² 2p ⁵	-
Cl	7	17	3s ² 3p ⁵	8
Br	7	35	4s ² 4p ⁵	18
I	7	53	5s ² 5p ⁵	18
At	7	85	6s ² 6p ⁵	32
Ne	8	10	2s ² 2p ⁶	-
Ar	8	18	3s ² 3p ⁶	8
Kr	8	36	4s ² 4p ⁶	18
Xe	8	54	5s ² 5p ⁶	18
Rn	8	86	6s ² 6p ⁶	32

Основываясь на представлениях целесообразности замены кислорода на галогены с учетом вертикальной гомологии и диагональной аналогии элементов, нами осуществлен синтез галогенсодержащих эмалей и изучены их основные физико-химические свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дей, К. Теоретическая неорганическая химия [Текст] / К. Дей, Д. Селбин. – М.: Химия, 1976. – 567 с.
2. Казрачис, А. П. Исследование зависимости точек плавления галогенидов щелочных металлов от их состава и структуры [Текст] / А. П. Казрачис // Ж. физ. химии. – 1970. – 44, № 47. – С. 1651-1656.

3. Казрачис, А. П. Исследование зависимости температур плавления тугоплавких редких металлов от некоторых атомных, кристаллохимических, термодинамических и механических параметров [Текст] / В кн.: Монокристаллы тугоплавких и других металлов / А. П. Казрачис. – М.: Наука, 1971. – С. 50-59.
4. Щукарер, С. А. Неорганическая химия. – Т. 1 [Текст] / С. А. Щукарер. – М.: Высш. шк., 1970. – 349 с.
5. Ахметов, Н. С. Неорганическая химия [Текст] / Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 1969. – 640 с.
6. Стромберг, А. Г. Физическая химия [Текст] / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М.: Высш. шк., 1973. – 479 с.

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

А. Л. ЗАКОРА, С. В. КЛЮЧНИК, В. В. МАРОЧКА (ДИИТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКЕ ДВУХПРОЛЁТНОГО НЕРАЗРЕЗНОГО ПРОЛЁТНОГО СТРОЕНИЯ

В статті відслідковуються зміни зусиль в перерізах аванбека та прогонової будови на всіх етапах її подовжнього насування.

В статье отслеживаются изменения усилий в сечениях аванбека и пролётного строения на всех этапах его продольной надвижки.

Variations of stresses in cross-sections of a launching girder and a span at all stages of its longitudinal shifting are investigated in the paper.

В процессе продольной надвижки неразрезного преднапряженного железобетонного пролётного строения с использованием аванбека при конвейерно-тыловой сборке произошло обрушение моста Иньяка в Южной Африке (1998 г.), в результате которого погибли 14 и ранены 19 человек [1]. Схема моста при продольной надвижке и вероятная последовательность его разрушения показаны на рис. 1.

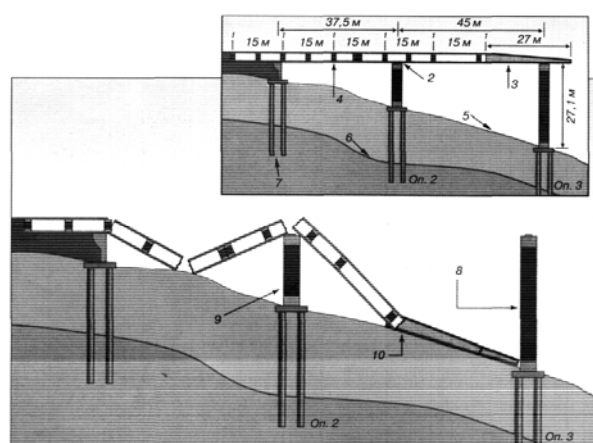


Рис. 1. Схема моста и вероятная последовательность разрушения: 1 – секция, 2 – тефлоновые прокладки; 3 – стальная монтажная ферма (аванбек); 4 – диафрагмы, 5 – уровень земли; 6 – приблизительный уровень скального грунта; 7 – концевая опора; 8 – передний край аванбека пробивает отверстие в опоре; 9 – опора, на которую действуют поперечные силы; 10 – найденные на земле разорванные стяжки

«Разорванные стяжки» (рис. 1) прикрепления аванбека к пролётному строению свидетельствуют о недостаточном их количестве, тем более, что разрушение произошло в то время, когда на этот стык воздействовал наибольший изгибающий момент.

Почему это обрушение не произошло при надвижке пролётного строения в предыдущий пролёт? Дело в том, что первый пролёт короче второго, и, следовательно, меньше величина максимального изгибающего момента, для восприятия которого прочность стыка аванбека с пролётным строением была достаточна. А для второго пролёта прочность стыка оказалась недостаточной.

Нарушены основные требования, которые должны соблюдаться при продольной надвижке пролётных строений с аванбеком, а именно: устойчивость, прочность и жесткость надвигаемой системы в целом и отдельных её конструктивных элементов (главных балок, опор, монтажных элементов) на всех стадиях производства работ [2].

Дело в том, что при продольной надвижке как сечения пролётного строения, так и узел примыкания аванбека к нему испытывают воздействие усилий (изгибающих моментов, поперечных сил и др.) разных знаков и разной интенсивности. Поэтому необходимо тщательно отслеживать изменение величин и знаков этих усилий и на наибольшие из них выполнять расчёты и конструирование сечений и узлов надвигаемого пролётного строения. При этом наряду с учетом собственного веса, строительных нагрузок необходимо принимать во внимание ветровое воздействие.

На примере продольной надвижки двухпролётного неразрезного преднапряженного железобетонного пролётного строения с использованием аванбека проследим изменение усилий в его сечениях (ветровое воздействие не учитывается).

Полагаем, что интенсивность постоянной нагрузки от собственного веса пролётного строения составляет 1 т/м ($q = 1$), а аванбека –

0,5 т/м. Примем длину аванбека (l_a) равной половине длины пролётного строения (l).

Вначале рассмотрим изменение усилий в корне аванбека и в сечениях надвигаемого пролётного строения, заменив надвигаемую систему расчетной схемой в виде одноконсольной балки (рис. 2), загруженной равномерно распределённой нагрузкой от собственного веса пролётного строения и аванбека. Линии влияния усилий (M и Q) представлены на рис. 2.

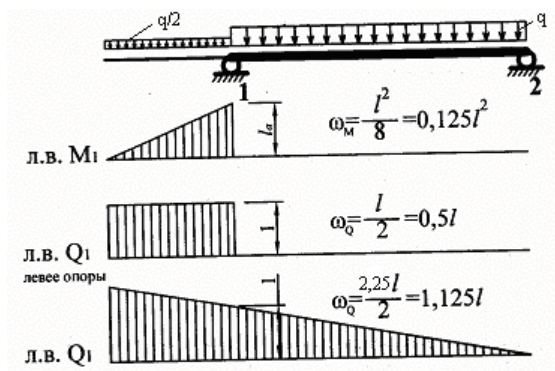


Рис. 2. Линии влияния M и Q вблизи (слева) и на опоре № 1

Изменение величины поперечной силы на опоре № 1 в процессе надвижки пролётного строения представлено на рис. 3.

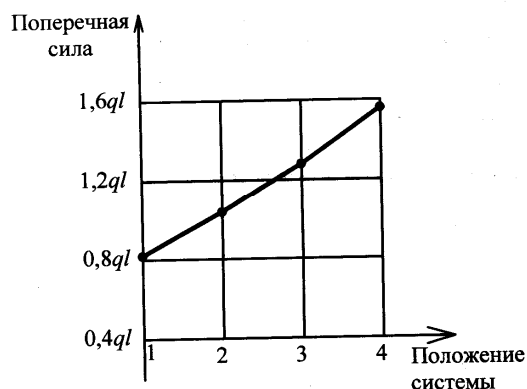


Рис. 3. График изменения поперечной силы на опоре № 1 при надвижке системы

При этом положение 1 соответствует моменту прикрепления аванбека к пролётному строению на опоре № 1, положения 2, 3 и 4 соответствуют надвижке системы соответственно на $1/6 l$, $1/3 l$ и $1/2 l$ (до момента опирания аванбека на переднюю опору № 0). При этом поперечная сила в корне аванбека отрицательная и постоянная $Q_a = -0,25ql$, а в сечении левее опоры № 1 – тоже отрицательная и изменяется от $-0,25ql$ до $-0,75ql$. Положительное значение поперечной силы на опоре № 1 изменяется от $0,8125ql$ до $1,562ql$.

При продольной надвижке системы по этой схеме отрицательный изгибающий момент на опоре № 1 изменяется от $-0,0625ql^2$ до $-0,3125ql^2$ (рис. 4).

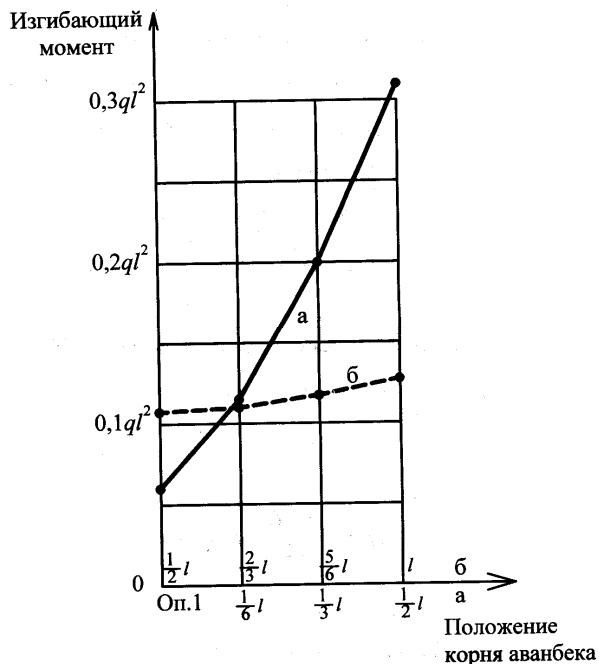


Рис. 4. Изменение изгибающего момента на опоре № 1: а – при надвижке одноконсольной балки; б – при надвижке неразрезной системы

В момент опирания аванбека на авангардную опору № 0 изменяется расчетная схема надвигаемой системы – она из одноконсольной балки превращается в двухпролётную неразрезную (рис. 5).

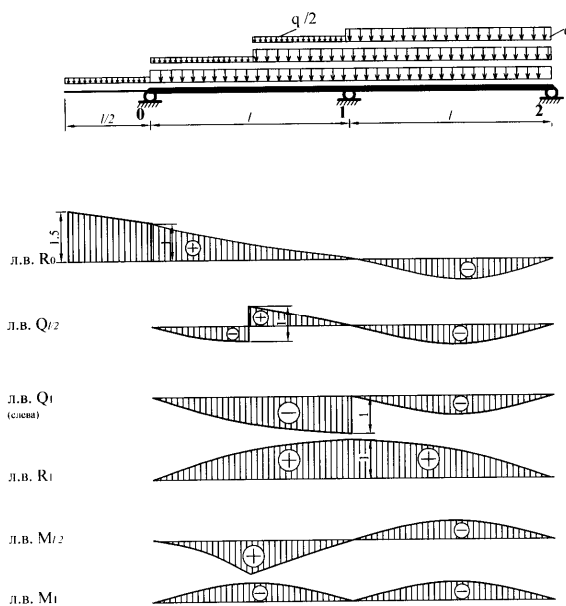


Рис. 5. Расчетная схема и линии влияния усилий (M и Q) в сечениях неразрезного двухпролётного пролётного строения

При дальнейшем движении надвигаемой системы после опирания аванбека на опору № 0 поперечная сила в корне аванбека возрастает, меняя при этом знак, от $-0,036ql$ (корень аванбека в середине пролёта 0-1) до $+0,38ql$, когда на опору № 0 опирается передний конец пролётного строения 0-1 (рис. 6).

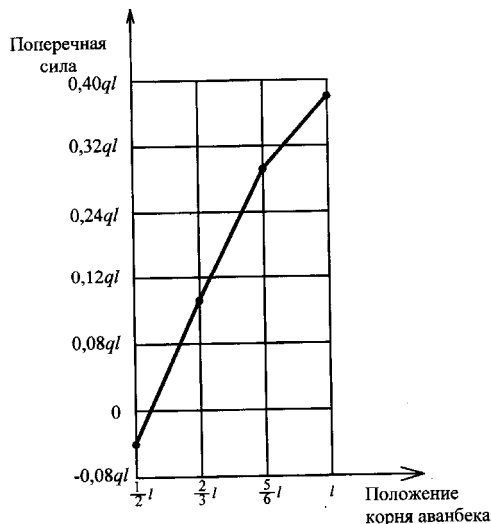


Рис. 6. График изменения поперечной силы в корне аванбека при его движении от середины пролёта 0-1 до опоры № 0

Изгибающий (отрицательный) момент на предыдущей опоре № 1 изменяется незначительно от $0,108ql^2$ до $0,125ql^2$ (рис. 4), минимальное значение которого в 2,5 раза меньше изгибающего момента, возникающего при надвижке консоли.

В момент опирания аванбека на опору № 0 максимальный положительный изгибающий момент в корне аванбека составляет $0,039ql^2$.

Таким образом, наглядно видно, как изменяются усилия, действующие на надвигаемую систему «пролётное строение + аванбек», в процессе её надвижки.

Собственно конструкция аванбека, узел прикрепления его к надвигаемому пролётному строению должны быть запроектированы таким образом, чтобы была обеспечена как их прочность, жесткость и устойчивость, так и всей

системы в целом во всем диапазоне изменения действующих в процессе надвижки усилий.

При этом следует помнить об изменении усилий, действующих в процессе продольной надвижки на сечения надвигаемого пролётного строения. Например, перед опиранием аванбека на опору № 0, на опору № 1 опирается середина пролётного строения 0-1, которая в эксплуатационном положении рассчитана и сконструирована на восприятие максимального положительного изгибающего момента и минимальной поперечной силы.

А до момента опирания аванбека на опору № 0 это сечение пролётного строения должно обеспечивать восприятие максимального отрицательного изгибающего момента ($-0,3125ql^2$) и максимальной положительной поперечной силы $1,5625ql$.

При необходимости предусматривается усиление этих сечений с целью обеспечения их прочности, устойчивости и необходимой жесткости.

Учет ветрового воздействия способен существенно повлиять на величины усилий, действующих на надвигаемую систему. Для снижения этого влияния иногда целесообразно использовать устройства, снижающие эффект ветрового воздействия, напр. [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оливер, Э. Отсутствие опыта и ошибки привели к человеческим жертвам при обрушении моста Иньяна [Текст] / Э. Оливер // Мостостроение мира. – 2004. – № 1-2. – С. 66-67.
2. Кручинкин, А. В. Сборно-разборные временные мосты [Текст] / А. В. Кручинкин. – М.: Транспорт, 1987. – 191 с.
3. Загора, А. Л. Способ монтажа пролётных строений. Авторское свидетельство № 1296660 [Текст] / А. Л. Загора, Г. А. Коваленко. – Б.Н. № 31, 1986.

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕМОНТНИХ СОСТАВІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ РЕМОНТІ БУДІВЕЛЬ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД НА ТРАНСПОРТІ

У статті розглянуто один із напрямів створення ремонтного матеріалу із заданими технологічними та експлуатаційними властивостями шляхом застосування модифікуючих добавок направленої або поліфункціональної дії. Встановлено вимоги до ремонтних складів спеціального призначення для різних умов експлуатації споруди і виділено категорії матеріалів для ремонту. Зроблено огляд сучасних синтетичних добавок і добавок-мікронаповнювачів для модифікації властивостей ремонтних складів спеціального призначення.

В статье рассмотрено одно из направлений создания ремонтного материала с заданными технологическими и эксплуатационными свойствами путем использования модифицирующих добавок направленного или полифункционального действия. Установлены требования к ремонтным составам специального назначения для разных условий эксплуатации сооружения и выделены категории материалов для ремонта. Проведен обзор современных синтетических добавок и добавок-микронаполнителей для модифицирования свойств ремонтных составов специального назначения.

In the article one of directions of creation of repair material with the set technological and operational properties by means of use of modifying additives of the directed or multifunctional action is considered. The requirements to repair compositions of special purpose for different conditions of operation of a construction are established and the categories of materials for repair are separated. The review of modern synthetic additives and ground-additives for modifying the properties of repair compositions of special purpose is carried out.

Сучасним напрямком створення ремонтного матеріалу із заданими технологічними та експлуатаційними властивостями є застосування модифікуючих добавок поліфункціональної дії і розробка ремонтних складів на їх основі. Доцільність використання модифікуючих добавок визначається досягненням широкого спектру технологічних та економічних показників ефективності при ремонті, захисті і відновленні кам'яних, бетонних та залізобетонних конструкцій і споруд, а також при монолітному будівництві інженерних споруд.

На сьогоднішній день різноманітність матеріалів та модифікуючих добавок ставить інколи в тупик технологів і будівельників – за якими критеріями застосовувати ті чи інші добавки.

Тому дослідження і систематизація модифікуючих добавок, також розробка складів на їх основі дозволить більш раціонально підходити до вибору необхідного матеріалу, як за ціною, так і за ефективністю при використанні у технології ремонту, що дозволить отримати певний економічний ефект.

До ремонтних складів спеціального призначення відносяться склади, які крім заданого набору властивостей, що забезпечують їх експлуатаційну придатність, повинні характеризуватися

додатково властивостями, обумовленими специфічними умовами експлуатації конструкції у споруді, що ремонтується. Цими специфічними умовами є розташування матеріалу конструкції по відношенню до води і характер взаємодії з нею. З цього погляду матеріал конструкції споруди можна поділити на такі зони:

– Підводна (підземна) зона матеріалу конструкції – характерна тим, що постійно знаходиться у воді і взаємодіє з нею та її складовими з різною інтенсивністю, яка залежить від характеру дії води (під напором або без напору), хімічного складу (агресивності) водного середовища, а також від складу і будови безпосередньо матеріалу конструкції. Стійкість матеріалу конструкції або споруди у цьому випадку досягається правильним вибором складу матеріалу, підвищеною щільністю структури, яка досягається раціональним підбором складу матеріалу, у тому числі і ремонтного, зменшенням водов'язучого відношення, шляхом введення модифікуючих добавок синтетичного і мінерального походження.

– Зона змінного рівня води. Ця зона являється особливо жорсткою до дії сукупності природних факторів і до матеріалу цієї зони ставляться найбільш вибагливі вимоги з коро-

зійної стійкості, зносостійкості (абразивної і кавітаційної), морозостійкості, механічної міцності при стиску і розтягу, водостійкості. Стійкість матеріалу у даному випадку досягається більш ретельним вибором високоякісних вихідних матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями, підвищенням щільності і механічної міцності матеріалу, мінімальною міжзерновою пустотністю, яка досягається раціональним підбором складу матеріалу, застосуванням модифікуючих добавок, полімерних матеріалів.

– Надводна зона. Матеріал надводної зони зазнає епізодичної дії води (бризок), сонячної радіації, вітру та ін. Тому для даних умов стійкість матеріалу досягається дотриманням визначеного класу за міцністю при стиску та атмосферостійкістю.

В якості ремонтних составів при ремонті будівель і інженерних споруд на транспорті використовуються ремонтні матеріали і системи, які можна поділити на три основні категорії, розподіл на які відбувається за видом основної в'язучої речовини і її впливом на експлуатаційні і фізико-механічні властивості ремонтних составів:

- 1 категорія – ремонтні матеріали на основі органічних і полімерних в'язучих речовин;
- 2 категорія – модифіковані полімерами матеріали на цементній в'язучій речовині;
- 3 категорія – ремонтні матеріали на цементній в'язучій речовині.

Рекомендації щодо використання різних категорій матеріалів для ремонту будівель і інженерних споруд наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Зведені рекомендації щодо використання різних категорій матеріалів
для ремонту будівель інженерних споруд**

Назва матеріалу	Основні властивості	Рекомендації щодо використання
Цементні розчини та бетони	Нормальна щільність та міцність, нормальне бетонування; мала адгезія до старого бетону. Вимагають ретельного і тривалого догляду при твердінні, або застосування захисних покриттів.	Ремонт і посилення великих елементів (опор мостів); виконання залізобетонних сорочок, поясів; виконання зливів; ремонт захисного шару елементів, що працюють тільки на постійне навантаження; ремонт раковин, порожнин, затірка тріщин у невідповідальних елементах, що працюють на постійне навантаження.
Полімер-цементні розчини та бетони	Підвищена в'язкість, добре повітряутримування. Нормальна (у порівнянні з цементними) щільність і міцність, підвищена адгезія до бетону. Не вимагає при твердінні ретельного догляду. При використанні пігментів вид поверхні відповідає підвищеним естетичним вимогам.	Ремонт ушкоджених елементів мостів та труб у зонах, де є оголена попередньо напружена арматура; затірка тріщин; для виготовлення ін'єкційних розчинів; відновлення захисного шару до проектного розміру і т.п.
Полімерні розчини та бетони	Висока міцність, щільність та непрониکنість, стійкість у агресивному середовищі. Підвищена адгезія до сухого бетону. Знижений термін придатності приготовленої суміші 30...40 хв.	Ремонт сколів бетону у зонах, де необхідне відновлення його розрахункової міцності при стисканні та згині; або коли необхідно досягнення високої хімічної та механічної стійкості відремонтованого елемента; або для бетонування збірних підсилюючих елементів до залізобетонних конструкцій; для виготовлення ін'єкційних розчинів; для виготовлення захисних лаків і т.п.

Ремонтні состави повинні відповідати певним вимогам за властивостями, які визначають галузь застосування даного составу. До них відносяться технологічні і експлуатаційні властивості ремонтних составів. До технологічних властивостей відносяться характеристики ремонтних составів, що забезпечують можливість їх застосування для певних технологій нане-

сення, достатній термін придатності та оброблюваності матеріалу, збереження однорідності властивостей матеріалу у всьому об'ємі протягом періоду укладання (протягом виконання всіх технологічних операцій). Тобто властивості, якими повинен володіти матеріал до початку процесу твердіння (утворення початкової міцності).

До основних технологічних характеристик відносяться [1]: реологічні – в'язкість, пластичність ремонтного составу (розплив або осадка конуса суміші і т.д.); життєздатність суміші (характеризується зміною реологічних властивостей протягом часу) – забезпечення достатнього терміну придатності матеріалу до застосування (допустиме зниження осадки конуса); седиментаційна (сегрегаційна) стійкість – збереження однорідності розподілу компонентів у всьому об'ємі матеріалу до початку утворення структури (відсутність процесів розшаровування та осідання компонентів різної густини).

Основні технологічні властивості ремонтних составів впливають на подальше формування структурно-механічних властивостей та показника ефективної площі контакту з матеріалом основи-підкладки (достатньої щільності прилягання ремонтного матеріалу до поверхні, повноти заповнення дефектів матеріалу конструкції, глибини проникнення та ін.).

Експлуатаційні властивості ремонтного составу спеціального призначення повинні забезпечувати ефективну та довговічну сумісну роботу ремонтного матеріалу з матеріалом конструкції, що включає:

- можливість перерозподілу навантажень між старим та новим бетоном без порушення контакту при відновленні робочої площі перерізу (геометрії конструкції);
- збереження суцільності контакту між матеріалами при виникненні деформацій, викликаних зовнішніми факторами та внутрішніми процесами, що протікають в матеріалах;
- підвищення стійкості відремонтованих ділянок, що до ремонту піддавались інтенсивним агресивним впливам.

До експлуатаційних властивостей ремонтних составів відносяться наступні: модуль пружності, показники усадкових деформацій; повзучість (при стиску та розтягу); коефіцієнт термічного розширення; проникність (водо-, паро-, газо-); морозостійкість; корозійна стійкість в середовищі експлуатації конструкції; зносостійкість; адгезійна міцність контакту зі «старим» бетоном; міцність та інтенсивність її набору.

Проведеними дослідженнями і аналізом практичного досвіду експлуатації, утримання і ремонту будівель і інженерних споруд на залізничному транспорті України встановлено, що особливими вимогами, які ставляться до ремонтних составів, є наступні: водонепроникність, морозостійкість, обмежена усадка і набрякання, механічна деформація, помірне виділення тепла при твердінні, стійкість проти агресивної дії

солей або інших речовин, розчинених у воді. Вимоги по водонепроникності і морозостійкості диференційовані в залежності від характеру конструкцій і умов їх роботи. У специфічних умовах експлуатації до цих бетонів можуть пред'являтися і додаткові вимоги: гідродинамічна стійкість (зносостійкість, абразивна і кавітаційна стійкість), альгїцидність і бактерицидність та ін. У транспортному будівництві застосовують бетон класів В10...В40. За водонепроникністю в 180-добовому віці бетон для транспортних споруд поділяють на шість марок: W2, W4, W6, W8, W10, W12. Вимоги за морозостійкістю пред'являються лише до тих бетонів для будівництва і ремонту транспортних штучних споруд, які у конструкціях піддаються спільній дії води і морозу. За морозостійкістю бетон поділяють на марки: F50, F100, F200, F300.

Для забезпечення комплексу технологічних і експлуатаційних вимог, що ставляться до бетонів і розчинів спеціального призначення, використовують додаткові речовини, здатні модифікувати ремонтні состави за критерієм експлуатаційної придатності.

В залежності від придатності (основного ефекту дії) добавки для модифікації властивостей ремонтних сумішей, згідно ДСТУ Б В.2.7-65-97 [2], поділяються на види: добавки, що регулюють властивості бетонних і розчинних сумішей: пластифікуючі, стабілізуючі, водоутримуючі; добавки, що покращують перекачування; добавки, що регулюють зберігання сумішей; добавки, що сповільнюють або прискорюють тужавлення; поризуючі добавки; добавки, які регулюють тверднення бетонів і розчинів; добавки, що сповільнюють або прискорюють тверднення; добавки, які підвищують міцність і (або) корозійну стійкість, морозостійкість бетону або залізобетону та знижують проникність бетону; добавки, які надають бетонам і розчинам спеціальні властивості.

Виробниками пластифікуючих добавок являються як українські хімічні комбінати міст та обласних центрів Луганська, Запоріжжя, Рівного, Вінниці та ін., так і російські виробники у Северодонецьку, Краснокамську, Новосибірську, Новочебоксарську та ін. регіонах Росії.

В табл. 2 наведено найбільш розповсюджені добавки-модифікатори, що рекомендовані для застосування при ремонті будівель і інженерних споруд.

За характером дії розрізняють гідрофільно- (ЛСТ – лігно-сульфонат технічний та добавки на його основі) і гідрофобно-пластифікуючі добавки (ГКЖ-10, ГКЖ-94, милонафт та ін.) [1].

**Добавки, що рекомендовані для застосування при ремонті
бетонних та залізобетонних штучних споруд**

Найменування, марка	Клас добавки	Вплив на фізико-механічні характеристики розчинів та бетонів	Кількість добав- ки (у %) від маси цементу
Вітчизняні добавки			
Комплек- сна доба- вка ПЛКП-С	Пластифікатор, прискорювач твердіння, збільшення водостійкості та морозостійкості	1. Збільшує рухливість бетонної суміші до 15...17 см. 2. Збільшує міцність на стиск при однаковій рухливості на 22...25 %. 3. Збільшує морозостійкість на 36...40 %. 4. Збільшує водонепроникність на одну одиницю за маркою.	0,8...1,5
АМКІ- РОЗ	Пластифікатор	1. Зменшує на 15...20 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості. 2. Збільшує міцність на стиск при однаковій рухливості на 20...27 %.	0,5...1,5
Релаксол ТЕМП 3	Прискорювач твердіння	1. Інтенсифікує гідратацію. 2. Зменшує терміни твердіння цементу. 3. Збільшує ранню міцність бетону.	1,0...1,8
Релаксол НОРМА ПЛЮС	Пластифікатор	1. Знижує водопотребу цементу. 2. Знижує розшарування бетонної суміші. 3. Збільшує ранню та кінцеву міцність бетону. 4. Знижує утворення тріщин.	1,0...2,0
Ультра – СИ	Стабілізатор	1. Збільшує однорідність та зв'язність суміші. 2. Збільшує міцність бетону на 15...20 %. 3. Збільшується адгезія до старого бетону на 20...25 %.	0,2...2
Закордонні добавки			
Sika Vis- coCrete5	Суперпластифікатор	1. Зменшує на 30...33 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості. 2. Збільшення міцності на стиск при однаковій рухливості на 38...45 %. 3. Зниження усадочних деформацій.	0,3...0,8
Mapfluid- N200	Суперпластифікатор	1. Зменшує на 27...30 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості. 2. Збільшує міцність на стиск при однаковій рухливості на 35...40 %. 3. Знижує водонепроникність.	0,5...1,5
С-3	Суперпластифікатор	1. Знижує водопотребу бетонної суміші на 15 % для отримання рівнорухливого бетону 2. Підвищує міцність (на 10...15 МПа), щільність бетону, покращує його структуру. 3. Збільшує зчеплення нового бетону із старим.	0,2...0,7

Для зменшення витрати цементу (до 30 % за масою), а отже, зменшення тепловиділення й об'ємних деформацій бетону при збереженні необхідної рухливості бетонної суміші і щільності бетону в ремонтні состави необхідно додавати активні мінеральні добавки-мікронаповнювачі, які складаються в основному з аморфного кремнезему.

Ефективність застосування добавок і можливість заміни ними частини клінкерних цементів засновані на їх пластифікуючій і ущільнюючій дії, на хімічній взаємодії активного

аморфного кремнезему з гідроксидом кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При ремонті будівель і інженерних споруд у якості такої добавки рекомендуємо використовувати золу-виносу, доменні гранульовані або відвальні шлаки, золи ТЕС, ГРЕС, аморфізований кремнезем (ПГВФ – побічний продукт газоочищення при виробництві феросиліцію Стаханівського та Нікопольського феросплавних заводів), активні мінеральні мікронаповнювачі – діатоміти, опока, трепел, вулканічний попіл, туф, пемза та ін. Високодисперсні промислові відходи в значній кількості накопи-

чуються на металургійних підприємствах нашого регіону (Дніпропетровськ, Донецьк, Дніпродзержинськ, Кривий Ріг та ін.). Родовища діатоміту, трепелу, опоки знаходяться у Вінницькій, Хмельницькій, Кіровоградській, Миколаївській, Донецькій та Сумській областях.

Проведено збір та аналіз інформації про виробництво та застосування пластифікуючих добавок. Як пластифікатори використовують поверхнево-активні речовини (ПАР), які найчастіше одержують із вторинних продуктів та відходів хімічної промисловості.

Пластифікуючі добавки являють собою органічні полярні сполуки вуглеводневого радикалу, який надає гідрофобних властивостей, і поляризуючої групи з гідрофільними властивостями і з зарядом в залежності від рН середовища чи твердої фази, що разом спричиняють структуруючий вплив у матеріалі. Дія пластифікуючих добавок полягає у зменшенні в'язкості цементного тіста в бетонних і розчинових сумішах, поліпшенні легкоукладальності (при незмінній міцності бетону) та збільшенні міцності бетону чи розчину за рахунок зниження витрати води (при незмінній витраті цементу).

За результатами проведеного аналізу встановлено, що сучасна промисловість випускає значну кількість пластифікаторів, з них найрозповсюдженіші такі: СДБ, УПБ, ВРП, апласан, милонафт, 30-03, моноліт, ПДК, ПДКО, ЛСТ, ЛСТМ-2, ГКЖ-10, ГКЖ-94, ПФС та ін.

Висновки

Проведеними попередніми дослідженнями встановлено, що спеціальні властивості ремонтних составів для ремонту будівель і інженерних споруд на транспорті забезпечуються:

1) правильним вибором ремонтних матеріалів, які надають необхідні технологічні умови нанесення і фізико-механічні властивості ремонтного матеріалу в заданих умовах експлуатації;

2) вибором ремонтних матеріалів, сумісних до матеріалу основної конструкції для довговічної роботи в моноліті;

3) застосуванням додаткових речовин-мікронаповнювачів, що зменшують тепловиділення й об'ємні деформації, зменшують водовідділення і ущільнюють структуру ремонтного составу;

4) застосуванням додаткових синтетичних речовин направленої або поліфункціональної дії для модифікації технологічних і експлуатаційних властивостей ремонтних составів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Афанасьєв, Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы. [Текст] / Н. Ф. Афанасьєв, М. К. Целуйко. – К.: Будівельник, 1989. – 128 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-65-97 Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація [Текст]. – К.: Держбуд України, 2000. – 18 с.

Надійшла до редколегії 19.09.2008.

СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАТРИЦ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ МНОГОМЕРНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Розглядається динаміка багатокомпонентних стержневих систем з використанням теорії графів та автоматів. Показано, що структурний склад таких моделей можна задавати за допомогою просторових матриць на основі дослідження топологічних властивостей графа системи. В кожному випадку аналізується можливість реалізації послідовної схеми шляхом сполучень між собою типових логічних елементів.

Рассматривается динамика многокомпонентных стержневых систем с использованием теории графов и автоматов. Показано, что структурный состав таких моделей можно задавать с помощью пространственных матриц на основе исследования топологических свойств графа системы. В каждом случае анализируется возможность реализации последовательностной схемы путем соединений между собой типовых логических элементов.

Dynamics of multicomponent rod systems with use of the theory of graphs and automatic machines is considered. It is shown that the structure of such models can be set by means of spatial matrices on the basis of research of topological properties of a system graph. In each case the possibility of realisation of the consecutive scheme by connections among themselves of typical logic elements is analyzed.

Согласно существующей классификации [1], к двумерным стержневым системам относятся системы перекрестных балок, стержневых плит, плоских рам и т. д., к трехмерным – рамные пространственные каркасы, стержневые оболочки, пространственные фермы и другие подобные им конструкции. Такие системы находят широкое применение в мосто- и судостроении, промышленном и гражданском строительстве. Однако вопросам динамического расчета пространственных разветвленных конструкций посвящено сравнительно мало научной литературы, что объясняется сложностью задачи и гораздо большими трудностями ее решения, чем для одномерных стержневых систем.

Обстоятельные обзоры применяемых методов расчета перекрестно-стержневых систем даны в работах [1, 2]. По существу, эти методы являются развитием известных методов динамического расчета одномерных конструкций с присущими им достоинствами и недостатками, которые особенно отчетливо проявляются при расчетах свободных и вынужденных колебаний пространственных стержневых систем.

Применение топологических и автоматных методов [3, 5] допускает точное математическое описание совместных колебаний пространственных стержневых систем, практически не меняя при этом основные алгоритмы расчета, принятые для одномерных конструкций. Такой подход позволяет также осущест-

вить декомпозицию графов на компоненты по видам колебаний с последующим переходом от характеристических функций простых систем к общему матричному уравнению действительной соединенной системы.

Целью исследования является получение пространственных ассоциированных матриц для описания состояний многокомпонентных стержневых систем с использованием теории графов и автоматов.

Простые стержневые системы (рис. 1) можно рассматривать как составные части более крупных систем в виде пересекающихся балок или пространственных рамных каркасов. Для построения ассоциированных матриц, описывающих колебания каждой такой части, необходимо рассмотреть все возможные состояния аналогов-стержней, входящих в простые системы, из которых затем формируются блоки, подсистемы и система в целом.

Вначале исследуем возможные состояния автомата $A_z 1$, представленного графом G_z [3], при подаче входных последовательностей длиной l для НП стержня 11 и КП стержня 12. Длина последовательности l равна числу символов в последовательности [4] и, в данном случае, формируется из набора кодов на множестве $\{0, 0, 1, 1\}$, характеризующих изгибные колебания стержня.

Следовательно, в таблице переходов A_z (табл. 1 [3]) изменения коснутся только кодов

НП, КП стержней 11, 12 при тех же состояниях I, II подграфов 1G_z , 2G_z . Соотношения между

кодами граничных параметров представлены в табл. 1.

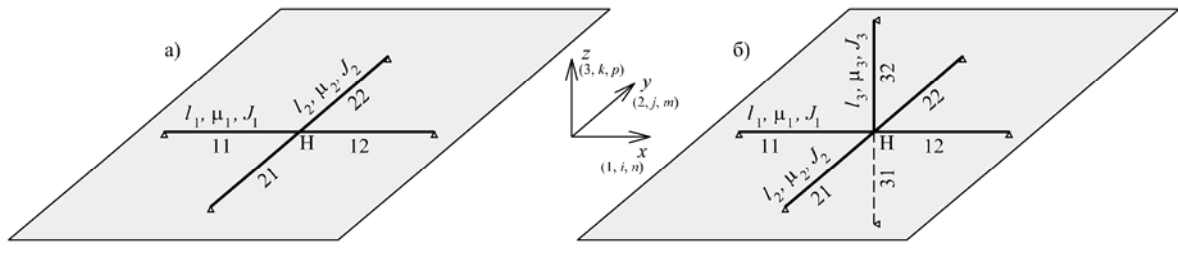


Рис. 1. Системы из двух и трех ортогональных балок

Таблица 1

Таблица переходов $A_z 1$									
s_v x_v		I				II			
		11	12	21	22	11	12	21	22
НП	К	a_1	a	0	0	a_1	0	0	e
		b_1	b	1	f	b_1	b	1	f
	С	c_1	c	0	g	c_1	c	0	g
		d_1	d	1	1	d_1	1	1	h
КП	К	a	a_2	0	0	0	a_2	e	0
		b	b_2	f	1	b	b_2	f	1
	С	c	c_2	g	0	c	c_2	g	0
		d	d_2	1	1	1	d_2	h	1

Тогда совокупность характеристических функций автомата $A_z 1$ можно выразить двумерной (квадратной) матрицей Ω_z шестого порядка с кодами НП, КП, аналогичными матрице M_z [5] для обычного участка балки

$$\Omega_z = V({}^1G_z) \tilde{V}({}^2G_z). \quad (1)$$

Значения матриц v_{21} , v_{22} и v'_{21} , v'_{22} [3] в соответствии с кодами табл. 1 для вектора $\tilde{V}({}^2G_z)$ остаются без изменений.

Матрицы v_{11} , v_{12} будут квадратными матрицами шестого порядка с элементами и кодами табл. 2 [5], характеризующими возможные состояния стержней 11, 12 в состоянии I подграфа 1G_z

$$v_{11} = M_{z11}; \quad v_{12} = M_{z12}. \quad (2)$$

Соответственно, выражения v'_{11} , v'_{12} определяются кодами НП, КП стержней 11, 12, реализующимися в состоянии II подграфа 1G_z . Матрица $v'_{11} = M'_{z11}$ имеет размеры 6×2 и соответствует первым двум столбцам матрицы M_z [5] с кодами 0011 и 0101.

Возможные сочетания кодов НП стержня 12 – 0101 и 0011 (табл. 1). Тогда матрица $v'_{12} = M'_{z12}$ размерами 2×6 определяется двумя строками матрицы M_z

$$M'_{z12} = \begin{matrix} & 0011 & 0101 & 0110 & 1001 & 1010 & 1100 \\ \begin{matrix} 0101 \\ 0011 \end{matrix} & \left\| \begin{array}{c} \frac{l_1^3}{EJ_{y1}\lambda_{z1}^3} A_{z1} \\ \frac{l_1^4}{(EJ_{y1})^2 \lambda_{z1}^4} G_{z1} \end{array} \right\| & \left\| \begin{array}{c} \frac{l_1^2}{\lambda_{z1}^2} B_{z1} \\ \frac{l_1^3}{EJ_{y1}\lambda_{z1}^3} A_{z1} \end{array} \right\| & \left\| \begin{array}{c} \frac{l_1}{\lambda_{z1}} C_{z1} \\ \frac{l_1^2}{EJ_{y1}\lambda_{z1}^2} H_{z1} \end{array} \right\| & \left\| \begin{array}{c} \frac{l_1}{\lambda_{z1}} C_{z1} \\ \frac{l_1^2}{EJ_{y1}\lambda_{z1}^2} F_{z1} \end{array} \right\| & \left\| \begin{array}{c} D_{z1} \\ \frac{l_1}{EJ_{y1}\lambda_{z1}} C_{z1} \end{array} \right\| & \left\| \begin{array}{c} -\frac{EJ_{y1}\lambda_{z1}}{l_1} A_{z1} \\ E_{z1} \end{array} \right\| \end{matrix} \quad (3)$$

Таким образом, ассоциированная матрица Ω_z для стержневой системы (рис. 1а) примет вид

$$\Omega_z = M_{z11}M_{z12}v_{z21}v_{z22} + M'_{z11}M'_{z12}v'_{z21}v'_{z22}. \quad (4)$$

Аналогично формируется ассоциированная матрица Ω_y для изгибных колебаний пересекающихся балок в плоскости xy

$$\Omega_y = V({}^1G_y)\tilde{V}({}^2G_y), \quad (5)$$

где матрицы $V({}^1G_y)$ и $\tilde{V}({}^2G_y)$ также можно представить в форме

$$V({}^1G_y) = \begin{bmatrix} v_{11}v_{12} & v'_{11}v'_{12} \end{bmatrix}; \quad \tilde{V}({}^2G_y) = \begin{bmatrix} v_{21}v_{22} \\ v'_{21}v'_{22} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Выражения для v_{11} , v_{12} будут тождественны матрице M_y (табл. 2 [5]) с характеристиками стержней 11, 12

$$v_{11} = M_{y11}; \quad v_{12} = M_{y12}. \quad (7)$$

Элементы матриц v'_{11} , v'_{12} зависят от состояний НП, КП стержней 11, 12 подграфа 1G_y , находящегося в состоянии II и определяются двумя столбцами матрицы M_y с кодами 0011 и 1010 для v'_{11} и двумя строками той же матрицы M_y с кодами 1010 и 0011 для v'_{12} .

Элементы векторов v_{21} , v_{22} выразим булевыми функциями

$$v_{21} = \begin{bmatrix} 0101/0011 & 0101/1010 \end{bmatrix}; \quad v_{22} = \begin{bmatrix} 1010/0101 \\ 0011/0101 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

или функциями Прагера

$$v_{21} = \begin{bmatrix} \frac{l_2^3 A_{y2}}{EJ_{z2}\lambda_{y2}^3} & D_{y2} \end{bmatrix}; \quad v_{22} = \begin{bmatrix} D_{y2} \\ \frac{l_2^3 A_{y2}}{EJ_{z2}\lambda_{y2}^3} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Значения v'_{21} , v'_{22} аналогичны выражениям (2), (3) из [3]. В окончательном виде для ассоциированной матрицы Ω_y запишем

$$\Omega_y = M_{y11}M_{y12}v_{21}v_{22} + M'_{y11}M'_{y12}v'_{21}v'_{22}. \quad (10)$$

Вновь обратимся к конструкции на рис. 1а и проведем анализ изменения состояний автомата A_z2 при изменении состояний входных переменных НП стержня 21 или КП стержня 22.

В этом случае всю систему, представляемую автоматом A_z2 , можно описать трехмерной (кубической) матрицей шестого порядка $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^z$

$$\Omega_{i_1 i_2 i_3}^z = \|a_{i_1 i_2 i_3}\|_1^6, \quad (i_1, i_2, i_3 = 1, 2, \dots, 6). \quad (11)$$

На рис. 2 схематично обозначены направления изменения индексов и угловые элементы кубической матрицы n -го порядка.

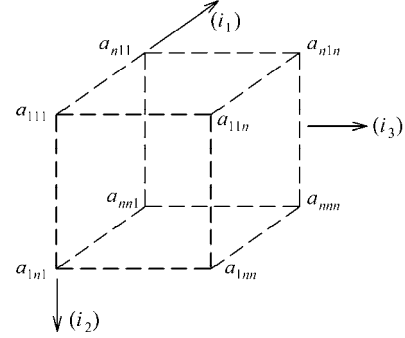


Рис. 2. Обозначения элементов кубической матрицы n -го порядка

Характерным для кубических матриц является то, что действия над ними производятся по тем же правилам, как и для двумерных матриц с добавлением последовательных переносов еще по одному направлению [6]. Так, для матрицы (11) все шесть сечений ориентации i_1 при фиксированном значении индекса $i_1 = 1, 2, \dots, 6$ будут обычными двумерными матрицами 6-го порядка $\Omega_{1i_2 i_3}^z, \Omega_{2i_2 i_3}^z, \dots, \Omega_{6i_2 i_3}^z$ ($i_2, i_3 = 1, 2, \dots, 6$).

В таблице переходов 1 возможность перестановки кодов КП стержня 22 выразим буквенными символами e_2, f_2, g_2, h_2 . Число перестановок кодов из двух произвольных и двух фиксированных параметров равно шести. Последовательный перебор этих кодов в порядке 0011, 0101, ..., 1100 позволяет сформировать элементы матриц-столбцов v_{22} и v'_{22} в выражении (4).

Несложно заметить, что поочередное изменение кодов начальных параметров стержня 22 в состоянии I (табл. 1) подграфа 2G_z будет отвечать изменению двух последних функций столбцов матрицы M_z [5]

$$v_{22} = \tilde{V}_{22}^{0011} = \left\| \begin{array}{c|c} 0011 & \\ \hline \frac{l_2^3}{EJ_{y2}\lambda_{z2}^3} A_{z2} & 0101 \\ \hline \frac{l_2^4}{(EJ_{y2})^2 \lambda_{z2}^4} G_{z2} & 0011 \end{array} \right\| ; \dots ;$$

$$v_{22} = \tilde{V}_{22}^{1100} = \left\| \begin{array}{c|c} 1100 & \\ \hline -\frac{EJ_{y2}\lambda_{z2}}{l_2} A_{z2} & 0101 \\ \hline E_{z2} & 0011 \end{array} \right\| , \quad (12)$$

а в состоянии II – полному набору матричных функций столбцов матрицы M_z

$$v'_{22} = \tilde{V}_{22}^{0011} ; \tilde{V}_{22}^{0101} ; \dots ; \tilde{V}_{22}^{1100} . \quad (13)$$

Поэтому для двумерной матрицы $\Omega_{i_1 i_3}^z$, образованной сечением ориентации $i_1 = 1$, можно записать

$$\Omega_{i_1 i_3}^z = M_{z11} M_{z12} v_{21} \tilde{V}_{22}^{0011} + M'_{z11} M'_{z12} v'_{21} \tilde{V}_{22}^{0011} . \quad (14)$$

При $i_1 = 2$ получим

$$\Omega_{2 i_3}^z = M_{z11} M_{z12} v_{21} \tilde{V}_{22}^{0101} + M'_{z11} M'_{z12} v'_{21} \tilde{V}_{22}^{0101} , \quad (15)$$

или, в другой форме,

$$\Omega_{2 i_3}^z = \left\| M_{z11} M_{z12} \mid M'_{z11} M'_{z12} \right\| \left\| \begin{array}{c} v_{21} \tilde{V}_{22}^{0101} \\ v'_{21} \tilde{V}_{22}^{0101} \end{array} \right\| . \quad (16)$$

Аналогично получаем выражения для остальных матриц $\Omega_{i_1 i_3}^z$ при $i_1 = 3, \dots, 6$.

Пользуясь двумерными сечениями [6], выразим кубическую матрицу $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^z$ в виде таблицы, в которой сечения отделяются вертикальными линиями

$$\Omega_{i_1 i_2 i_3}^z = \left\| a_{1 i_2 i_3} \mid a_{2 i_2 i_3} \mid \dots \mid a_{6 i_2 i_3} \right\| \begin{array}{c} \xrightarrow{(i_1)} \\ \downarrow \xrightarrow{(i_3)} \\ (i_2) \end{array} \quad (17)$$

где стрелки обозначают направления возрастания порядковых номеров индексов i_1, i_2, i_3 .

Следующим шагом является построение пространственной r -мерной матрицы $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^z$ ($r = 4$) шестого порядка, получающейся в результате подачи входных символов e_1, f_1, g_1, h_1 на множестве $\{0, 0, 1, 1\}$ для НП стержня 21 (табл. 1)

$$\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^z = \| a_{i_1 i_2 i_3 i_4} \|_1^6 . \quad (18)$$

В состоянии I подграфа 2G_z коды НП, КП стержня 21 формируют функции строк, соответствующие вектору v_{21} и первым двум элементам матрицы M_z с кодами КП 0011 и 0101

$$v_{21} = V_{21}^{1100} = \left\| E_{z2} \mid -\frac{EJ_{y2}\lambda_{z2} A_{z2}}{l_2} \right\| 1100 ; \dots ;$$

$$v_{21} = V_{21}^{0011} = \left\| \frac{l_2^4 G_{z2}}{(EJ_{y2})^2 \lambda_{z2}^4} \mid \frac{l_2^3 A_{z2}}{EJ_{y2} \lambda_{z2}^3} \right\| 0011 . \quad (19)$$

Во втором состоянии подграфа 2G_z получим строки матрицы M_z с последовательным изменением кодов НП стержня 21, соответствующие матрице v'_{21}

$$v'_{21} = V_{21}^{1100} ; V_{21}^{1010} ; \dots ; V_{21}^{0011} . \quad (20)$$

Таким образом, для совокупности элементов двумерной матрицы $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^z$ ($i_1, i_2, i_3, i_4 = 1, 2, \dots, 6$), образованной двукратным сечением ориентации ($i_1 i_2$) при фиксированных значениях индексов $i_1 i_2$, можно записать

$$\Omega_{1 i_3 i_4}^z = M_{z11} M_{z12} V_{21}^{1100} \tilde{V}_{21}^{0011} + M'_{z11} M'_{z12} V_{21}^{1100} \tilde{V}_{21}^{0011} . \quad (21)$$

При $i_1 = 2, i_2 = 1$ приходим к выражению для $\Omega_{21 i_3 i_4}^z$, которое запишем в форме (16)

$$\Omega_{21 i_3 i_4}^z = \left\| M_{z11} M_{z12} \mid M'_{z11} M'_{z12} \right\| \left\| \begin{array}{c} V_{21}^{1010} \tilde{V}_{22}^{0011} \\ V_{21}^{0011} \tilde{V}_{22}^{1100} \end{array} \right\| . \quad (22)$$

Далее несложно получить остальные выражения для двумерных матриц при различных сочетаниях $i_1 i_2$ ($i_1, i_2 = 1, 2, \dots, 6$) с изменением элементов векторов в правой части (22). Например, при значениях индексов $i_1, i_2 = 6$ получим

$$\Omega_{66 i_3 i_4}^z = \left\| M_{z11} M_{z12} \mid M'_{z11} M'_{z12} \right\| \left\| \begin{array}{c} V_{21}^{0011} \tilde{V}_{22}^{1100} \\ V_{21}^{0011} \tilde{V}_{22}^{1100} \end{array} \right\| . \quad (23)$$

Аналогично (17), представим двумерные сечения пространственной матрицы $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^z$ в виде квадратной таблицы с выделением двумерных

сечений вертикальными и горизонтальными линиями

$$\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^z = \begin{vmatrix} a_{11i_2 i_3} & a_{12i_2 i_3} & \dots & a_{16i_2 i_3} \\ a_{21i_2 i_3} & a_{22i_2 i_3} & \dots & a_{26i_2 i_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{61i_2 i_3} & a_{62i_2 i_3} & \dots & a_{66i_2 i_3} \end{vmatrix} \begin{matrix} \xrightarrow{(i_2)} \\ \xrightarrow{(i_4)} \\ \downarrow (i_3) \\ \downarrow (i_1) \end{matrix} \quad (24)$$

Другие двумерные простые сечения также можно представить в форме (24) для матрицы $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^z$ с фиксированными значениями индексов i_3, i_4 .

Кроме этого, следуя [6] для r -мерной пространственной матрицы возможно получение $(n!)^{r-2}$ двумерных трансверсальных сечений, состоящих из n трансверсальных строк, каждая пара которых не принадлежит одному и тому же простому сечению.

Пространственные матрицы $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^y$ и $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^y$ для изгибных колебаний пересекающихся балок в плоскости xy также можно представить в форме (11), (18) с последующим выделением двумерных сечений (17), (24).

Для построения ассоциированной матрицы $\Omega_{\varphi z}$, описывающей совместные изгибно-крутильные колебания системы пересекающихся балок, необходимо воспользоваться таблицей переходов автомата AT (табл. 1 [7]) с возможными состояниями промежуточного блока плоской рамы (рис. 2, 3 [7]). Количество возможных состояний граничных параметров подсистемы определяется входными последовательностями длиной $l=6$ для НП стержня 11 и КП стержня 12. Характеристические функции автомата AT_1 в соответствии с кодами табл. 1 [7] можно представить ассоциированной матрицей $\Omega_{\varphi z}$ восьмого порядка

$$\Omega_{\varphi z} = \left\| \begin{array}{c|c} M_{11} & M_{12} \\ \hline M_{21} & M_{22} \end{array} \right\|, \quad (25)$$

где подматрицы M_{ij} определяются выражениями (15)–(21) [7].

Подобным образом, для исследования состояний автомата AL_1 , учитывающего совместные изгибно-продольные колебания пересекающихся балок, следует воспользоваться таблицей переходов AL_1 , аналогичной табл. 1 [7], и набором матричных функций (23)–(28) [7], из которых формируются подматрицы M_{ij} (25) для ассоциированной матрицы Ω_{xy} .

Последовательный перебор граничных условий НП стержня 21 и КП стержня 22 позволяет перейти к трех- и четырехмерным матрицам восьмого порядка $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^{\varphi z}$ и $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^{\varphi z}$. В отличие от элементов пространственных матриц, характеризующих совместные изгибные колебания стержневой системы, элементы матриц $\Omega^{\varphi z}$ будут содержать упорядоченные произведения матричных функций M_{φ} и M_z [5, 7]. Алгоритм построения пространственных матриц $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^{xy}$ и $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^{xy}$ будет аналогичным.

Для построения уравнений частот в ортогональной форме трехмерной стержневой системы необходимо разделить ее плоскими сечениями на подсистемы, в которых какие-либо две балки всегда окажутся в плоскости сечения, а третья будет перпендикулярна этой плоскости. Как уже отмечалось [3], изгибные колебания балок в образованной ими плоскости будут вызывать крутильные, а из этой плоскости – продольные колебания ортогональной для них балки. Поэтому достаточно построить ассоциированные матрицы для одной какой-либо подсистемы, которые будут действительны также для описания других аналогичных подсистем.

Например, при изгибных колебаниях стержней 11, 12 и 21, 22 в плоскости xy стержни 31, 32 (рис. 16) будут испытывать крутильные колебания. В этом случае подграфы системы могут находиться только в двух состояниях I, II (рис. 9 [3]). Соответственно, таблица переходов 2 автомата ART_1 при условии подачи входных последовательностей длиной $l=4$ на НП, КП изгибаемых стержней примет следующий вид (см. табл. 2).

Учитывая только «входы» НП стержня 11 и КП стержня 12 получим двумерную матрицу $\Omega_{\varphi yz}$ шестого порядка в следующей форме

$$\Omega_{\varphi yz} = V \left({}^1GT \right) V \left({}^2GT \right) \tilde{V} \left({}^3GT \right), \quad (26)$$

или в развернутом виде

$$\Omega_{\varphi yz} = \left\| \begin{array}{cc|cc} v_{11}v_{12} & v'_{11}v'_{12} & v_{21}v_{22} & 0 \\ \hline 0 & v'_{21}v'_{22} & \omega_{31}\omega_{32} & \omega'_{31}\omega'_{32} \end{array} \right\| \quad (27)$$

Несложно заметить, что элементы матриц, входящих в выражение (27) в соответствии с кодами табл. 2 приводятся к элементам ассоциированной матрицы Ω_y (10) с последовательным их умножением на матрицы $\omega_{31}\omega_{32}$ и

$\omega'_{31}\omega'_{32}$ [3], характеризующие крутильные колебания стержней 31 и 32.

$$\Omega_{\varphi yz} = M_{y11}M_{y12}v_{21}v_{22}\omega_{31}\omega_{32} +$$

$$+M'_{y11}M'_{y12}v'_{21}v'_{22}\omega'_{31}\omega'_{32}. \quad (28)$$

Таблица 2

Таблица переходов автомата ART_1

$s_v \backslash x_v$		I						II					
		11	12	21	22	31	32	11	12	21	22	31	32
НП	К	a_1 b_1	a b	e_1 f_1	e 0	0	k	a_1 b_1	a 0	e_1 f_1	e f	0	0
	С	c_1 d_1	c d	g_1 h_1	1 h	1	l	c_1 d_1	1 d	g_1 h_1	g h	1	1
КП	К	a b	a_2 b_2	e 0	e_2 f_2	k	0	a 0	a_2 b_2	e f	e_2 f_2	0	0
	С	c d	c_2 d_2	1 h	g_2 h_2	l	1	1 d	c_2 d_2	g h	g_2 h_2	1	1

Соответственно, для ассоциированной матрицы Ω_{xyz} , описывающей изгибные колебания балок 1-го и 2-го направлений из плоскости xy и продольные колебания балки направления 3 (рис. 1б), можно записать

$$\Omega_{xyz} = M_{z11}M_{z12}v_{21}v_{22}u_{31}u_{32} +$$

$$+M'_{z11}M'_{z12}v'_{21}v'_{22}u'_{31}u'_{32}. \quad (29)$$

Далее, построение пространственных матриц $\Omega_{i_1i_2i_3}^{xyz}$ и $\Omega_{i_1i_2i_3i_4}^{xyz}$ будет точно таким же, как и пространственных матриц $\Omega_{i_1i_2i_3}^z$ и $\Omega_{i_1i_2i_3i_4}^z$ (11), (18). Отличие заключается лишь в дополнительных множителях $u_{31}u_{32}$ и $u'_{31}u'_{32}$ в выражениях для двумерных матриц (14), (15), (21) и др., образованных соответствующими сечениями ориентации.

Такую же аналогию можно провести между пространственными матрицами $\Omega_{i_1i_2i_3}^{\varphi yz}$, $\Omega_{i_1i_2i_3i_4}^{\varphi yz}$ и $\Omega_{i_1i_2i_3}^y$, $\Omega_{i_1i_2i_3i_4}^y$ с учетом дополнительных множителей $\omega_{31}\omega_{32}$ и $\omega'_{31}\omega'_{32}$.

В общем случае, для трехмерной стержневой системы можно составить r -мерную пространственную матрицу ($r = 5, 6$) с индексами i_1, i_2, \dots, i_6 , где $i_5, i_6 = 1, 2$.

Как видим, число измерений r пространственной матрицы Ω зависит от числа «входов» автомата A , описывающего колебания стержневой системы, а ее порядок n – от числа перестановок кодов соответствующих входных переменных. Каждое сечение ориентации ассо-

циированной пространственной матрицы кодируется точно так же, как и матрица обычного участка балки.

Таким образом, с помощью кодированных ассоциированных матриц характеристические уравнения получаются как в общем функциональном, так и в цифровом виде. В отличие от простых конструкций, ассоциированные матрицы относятся не к отдельным стержням, а к отдельным блокам или подблокам системы. Элементами матриц для структуры более высокого уровня будут аналогичные одномерным системам произведения матриц для других «вложенных» структур. Степень «вложенности» матриц определяется количеством входных последовательностей из наборов состояний граничных параметров в сечениях системы. На самом низком уровне элементами ассоциированных матриц являются функции Прагера для стержня.

Задачей последующего исследования является вывод уравнения состояния сложной системы по уравнениям отдельных ее частей, полученных с помощью обыкновенных (одномерных, двумерных) и пространственных ассоциированных матриц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галишникова, В. В. Регулярные стержневые системы. Теория и методы расчета [Текст] / В. В. Галишникова, В. А. Игнатьев / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. – 552 с.
2. Nayfeh, A. H. Dynamic characteristics of large repetitive framelike structures [Текст] /

- A. H. Nayfeh, M. S. Hartle // Trans. ASME: J. Appl. Mech. – 1984. – 51, N 3. – P. 510-518.
3. Распопов, А. С. Применение топологических методов к расчету пространственных колебаний двух- и трехмерных стержневых систем [Текст] / А. С. Распопов // Вестник Днепроп. нац. ун-та жел.-дор. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вып. 22. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2008. – С. 117-124.
 4. Гилл, А. Введение в теорию автоматов [Текст] / А. Гилл. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
 5. Распопов, А. С. Конечно-автоматное моделирование пространственных колебаний стержневых и балочных конструкций [Текст] / А. С. Распопов // Вестник Днепроп. нац. ун-та жел.-дор. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вып. 19. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2007. – С. 125-133.
 6. Соколов, Н. П. Пространственные матрицы и их приложения [Текст] / Н. П. Соколов. – М.: Гос. издат. физ.-мат. лит., 1960. – 300 с.
 7. Распопов, А. С. Применение конечных автоматов к расчету пространственных колебаний рамных мостов [Текст] / А. С. Распопов // Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології // Вісник Донбаської нац. акад. будівн. та архітект. – Вип. 2007-6 (68). – Макіївка, 2007. – С. 73-79.

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ НЕЧЕТКИХ ВЕЛИЧИН ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Розглянуто питання прогнозування часових характеристик руху вагонопотоків на основі нечіткого моделювання процесу перевезень.

Рассмотрены вопросы прогнозирования временных характеристик движения вагонопотоков на основе нечеткого моделирования процесса перевозок.

Based on the fuzzy modeling of railway operation processes, the issues of forecasting wagons movement periods have been considered.

Введение

Для описания процессов управления сложными объектами и системами часто используется индуктивный подход к моделированию, позволяющий абстрагировать проблему и ограничиться построением более простой модели. В работе рассмотрено решение задачи прогнозирования временных параметров движения вагонопотоков. Анализ данных наблюдений показывает, что эти параметры имеют значительный разброс значений и не обладают свойством статистической однородности. Для моделирования такого рода процессов может быть успешно использована теория нечетких множеств [1]. Представление характеристик сложных объектов и процессов с использованием нечетких величин, моделей и методов нечеткого вывода достаточно известно в областях моделирования, анализа и управления. Разработка систем нечетких величин $V_i(\mu, X)$, с выбором значения X и соответствующей степени принадлежности μ , представляет основной этап моделирования. Для построения баз знаний продукционных экспертных систем образуют пары из нечетких величин вида $\pi_k(X_i^{(k)} \rightarrow X_j^{(k)})$, $i, j \in N$. При этом стандартная процедура поиска решений, нечеткий вывод, на основе моделей $\{V_i(\mu, X)\}_N$ и $\pi_k(X_i^{(k)} \rightarrow X_j^{(k)})$ с учетом степени соответствия переменных-посылок текущей ситуации состоит из следующих этапов:

- 1) расчет уровня соответствия α_k всех переменных-посылок текущей ситуации;
- 2) модификации нечетких величин заключений $X_j^{(k)}$ с использованием α_k : $\bar{X}_j^{(k)}(\alpha_k)$;

3) суперпозиция модифицированных переменных-заключений всех правил;

4) дефазификация – определение значения, которое принимается в качестве результирующего для переменной-заключения. При этом для интерпретации результата используют принцип максимума функции принадлежности, развитый в работах Р. Беллмана и Л. Заде.

В задачах моделирования процесса перевозок выбор способа представления данных для применения методов нечетких экспертных систем является важным этапом в построении модели. Он определяющим образом влияет как на точность, так и на область адекватности модели.

Метод построения функции принадлежности для дискретных нечетких множеств

В работе [2] Р. Ягером предложен метод определения степеней принадлежности элементов нечеткого множества через оценку вероятности попадания величины в уровневые множества. Такая оценка может быть получена в результате обработки мнений экспертов. Методология основана на том, что если известны вероятности, с которыми экспертом выбираются элементы уровневых множеств заданного нечеткого подмножества, то эту информацию можно использовать для определения степеней принадлежности элементов.

Алгоритм определения степеней принадлежности следующий:

1. С каждым элементом множества x_i связывается величина T_i , характеризующая число появлений x_i в уровневых множествах.
2. Определяется объем выборки M , необходимый для успешной работы.

- Единичный интервал делится на M частей равной длины, которые формируют множество S .
- Выбирается случайным образом без возвращения элемент α из S .
- Выбираются все элементы X , принадлежащие множеству уровня α .
- Если k – число элементов, включенных в множество уровня, то каждому элементу x_i из этого множества уровня добавляется $\frac{1}{k}$ к T_i .
- Повторяются шаги 4–6, пока не будут использованы все α из S .
- Рассчитываются оценки вероятностей $P(x_i): P(x_i) = \frac{T_i}{M}$.
- Оценки вероятностей $P(x_i)$ упорядочиваются по возрастанию, и выполняется расчет степеней принадлежности элементов X по следующим формулам:

$$\mu_1 = nP(x_1),$$

$$\mu_2 = (n-1)P(x_2) + P(x_1),$$

$$\mu_3 = (n-2)P(x_3) + P(x_2) + P(x_1),$$

...

$$\mu_k = (n-k+1)P(x_k) + \sum_{i=1}^{k-1} P(x_i),$$

...

$$\mu_{n-1} = 2P(x_{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-2} P(x_i),$$

$$\mu_n = \sum_{i=1}^n P(x_i).$$

Существенной особенностью метода является то, что он предназначен для работы с конечным нечетким множеством и дискретными величинами. Модели большинства процессов и систем описываются непрерывными параметрами.

Метод определения функции принадлежности для непрерывного нечеткого множества

В задачах управления транспортными системами используются непрерывные величины, задающие время движения вагона. При этом необходимо определять степень принадлежности не элемента множества, а временного диапазона. Диапазон для уровня с более высокой степенью принадлежности должен быть вло-

жен в диапазон для уровня с более низкой степенью принадлежности, то есть функция принадлежности является унимодальной, что не выполняется для реальных данных наблюдений в задачах управления вагонопотоками (рис. 1–3).

В настоящей работе предложен метод определения функции принадлежности нечеткого множества для непрерывных величин, в основе которого лежит предложенный Р. Ягером подход. В связи со сложностью транспортной системы и большим объемом данных функции эксперта необходимо заменить автоматизированной процедурой обработки данных наблюдений из обучающей выборки.

Для построения характеристик вагонопотоков на основе нечеткой модели используется информация о временах движения каждого вагона $\{t_i\}$, $i=1, N$ между заданными станциями, взятая за определенный период и по нужному роду подвижного состава, так как характеристики движения для различного рода подвижного состава существенно отличаются.

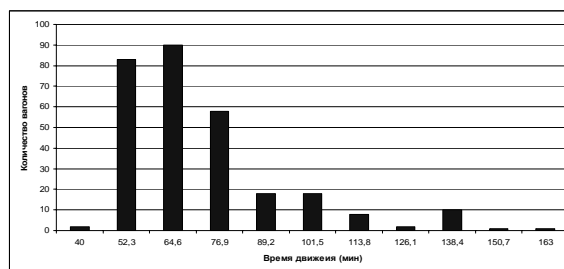


Рис. 1. Время движения между станциями Нижнеднепровск-Узел и Сухачевка

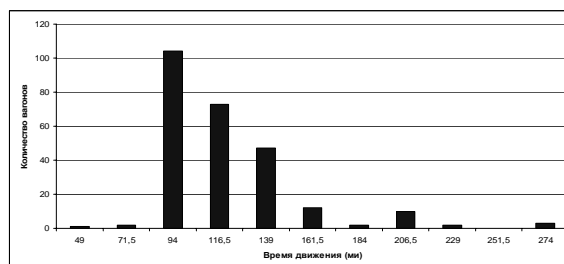


Рис. 2. Время движения между станциями Знаменка и Пятихатки

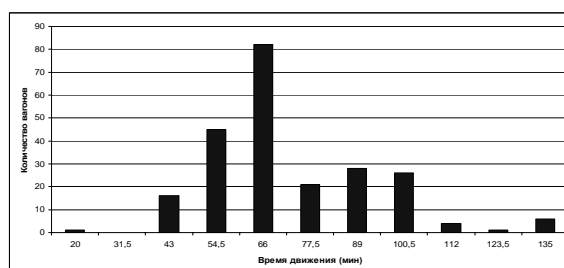


Рис. 3. Время движения между станциями Знаменка и Користовка

Учитывая, что для задач управления вагонопотоками нечеткое множество является непрерывным, оценивать по методу Р. Ягера будем временные интервалы. Для этого на первом этапе определяются количество и границы временных интервалов. Именно эти интервалы и являются элементами нечеткого множества, степень принадлежности которых множеству необходимо определить. На втором этапе, имитируя решения эксперта, необходимо оценить вероятности соответствия элементов множествам уровня и рассчитать степени принадлежности по предложенной Р. Ягером методике.

Таким образом, для использования метода Ягера необходимо предложить метод определения интервалов непрерывных величин и автоматизированную процедуру выбора множества уровня для каждого временного интервала.

Алгоритм определения временных интервалов

1. По экспериментальным данным о временах движения вагонов определяются t_{\min} и t_{\max} .
2. Выполняется дискретизация $[t_{\min}, t_{\max}]$ на M непересекающихся интервалов $\{[t_{\min}, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{M-1}, t_{\max}]\}$,
 $t_{\min} < t_1 < t_2 < \dots < t_{M-1} < t_{\max}$.
3. Определяется количество вагонов, времена движения которых попали в каждый интервал: $\{k_i\}, i = 1, M$.
4. Вводятся уровни α_j путем деления диапазона $[0, 1]$ на N равных частей.
5. Находится $K = \max_{i=1, M} k_i$.
6. Для каждого α_j находятся $t_{\min}^{\alpha_j} = \min_{i=1, M} t_i$ и $t_{\max}^{\alpha_j} = \max_{i=1, M} t_i$ среди только тех t_i , для которых выполняется условие $k_i \geq K \frac{j}{N}$ (рис. 4).

Далее, для множества, элементами которого являются построенные временные интервалы, применяем методику Р. Ягера. При этом, имитируя решения эксперта, к каждому α -уровню относим все временные величины,

попавшие в соответствующий этому уровню интервал $[t_{\min}^{\alpha_j}, t_{\max}^{\alpha_j}]$.

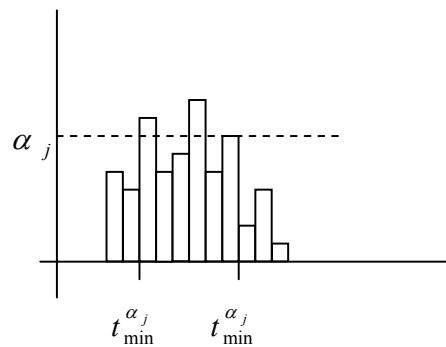


Рис. 4. Определение временного интервала для уровня α_j

Использование результатов повагонного информационного моделирования транспортных потоков позволяет идентифицировать структуру и рассчитать оценки параметров нечетких графов, характеризующих движение вагонов различного рода, в котором узлы – это станции, а дуги – пути движения вагонов. Множество узлов, дуг графа и веса дуг зависят от рода подвижного состава и от характеристик движения за взятый период.

Поскольку узлы графа соответствуют станциям, изменение местоположения вагона означает его перемещение по дуге графа, соединяющей разные станции. Выполнение операции на одной станции без перемещения вагона соответствует петле графа.

В графовой модели вес дуги является обобщенной характеристикой, он учитывает временные параметры движения и простоев на станциях всех вагонов за заданный период, а также величину вагонопотока.

В качестве модели, определяющей время движения по дуге, будем принимать нечеткую величину, построенную по предложенной выше методике.

Основным методом оценки значений временных характеристик вагонопотока для решения задачи прогнозирования времени движения вагона является построение нечеткого аналога топологического уравнения Мейсона [3]. Уравнение используется для определения характеристик специально введенной дуги. Такая дуга является эквивалентной заменой всего нечеткого потокового графа.

Выводы

В статье разработан метод моделирования непрерывных нечетких величин по эксперимен-

тальным данным, который основан на переходе от непрерывной величины к дискретной; предложен критерий для автоматизации определения принадлежности элемента множеству уровня; разработана процедура определения интервала, соответствующего заданному уровню принадлежности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст]: пер. с польск. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 452 с.
2. Ягер, Р. Р. Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств [Текст] // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: пер. с англ. / под ред. Р. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 71-78.
3. Прогнозирование показателей движения вагонов иностранных собственников на основе нечетких моделей исходных данных. [Текст] / В. А. Андриющенко и др. // Вестник Днепроп. нац. ун-та жел.-дор. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – 2003. – Вып. 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2003. – С. 84-90.

Поступила в редколлегию 08.07.2008.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ С УЧЕТОМ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

Розроблено уточнену модель вибору черговості розформування составів на сортувальних станціях з врахуванням оперативних даних автоматизованих систем управління ватажними перевезеннями.

Разработана уточненная модель выбора очередности расформирования составов на сортировочных станциях с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками.

The specified model of definition of the order of trains processing on the switching stations considering operative data of automatic management systems of freight transportation is developed.

Внедрение современных информационных технологий на железнодорожном транспорте создает благоприятные условия для решения некоторых технологических задач работы сортировочных станций на качественно новом уровне. В первую очередь это касается оптимизации работы оперативного персонала и создания автоматизированных рабочих мест.

Одной из оптимизационных задач, решаемых на сортировочных станциях, является задача выбора очередности роспуска составов на сортировочных горках.

Задача выбора очередности роспуска (ВОР) реализуется по трем критериям [1]:

- минимизация простоя поездов у входных сигналов по неприему;
- достижение минимального отклонения фактических количественных и качественных показателей по отправлению поездов своего формирования от запланированных;
- достижение наиболее раннего момента окончания роспуска.

Критерии имеют лексикографическую связь между собой, которая определяется выражением:

$$K_1 \overset{Lex}{>} \{K_2; K_3\}. \quad (1)$$

При решении задачи необходимо стремиться к устранению задержек поездов у входных сигналов по неприему. Сначала определяется множество решений, обеспечивающих первый критерий, а затем среди этих решений требуется определить оптимальное по второму или третьему критерию. Выбор второго или третьего критерия зависит от сложившейся оперативной обстановки на сети железных дорог и от

задач, которые ставит перед станцией высшее руководство.

Второй критерий подразумевает уменьшение продолжительности простоя вагонов на станции. При решении задачи по указанному критерию необходимо учитывать следующее:

- наличие локомотивов под поезда своего формирования;
- наличие ниток графика под поезда своего формирования;
- наличие в составах поездов групп вагонов, которые нельзя разрывать (так называемые маршрутные группы).

Далее будем рассматривать решение задачи по второму критерию.

В этом случае исходной информацией будет разложение вагонов в составах прибывающих поездов по назначениям плана формирования, текущее состояние путей сортировочного парка и парка приема. Эти данные обеспечиваются автоматизированными системами управления грузовыми перевозками. Кроме этого, необходимо располагать информацией о предполагаемых моментах прибытия поездов. Следовательно, необходимо создание модели прибытия поездов. Однако, машинный прогноз, основанный на нормативных временах хода по перегонам, не может гарантировать достаточной надежности прогнозирования. В этой связи необходимо участие поездного диспетчера в составлении прогноза прибытия поездов.

Каждый вариант обработки составов будем характеризовать выбранной очередностью расформирования $X^{(i)}$.

В общем виде модель задачи ВОР имеет вид:

$$C = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^z N_{ij}(X^{(t)}) \cdot T_j(X^{(t)}) \longrightarrow \min_{X^{(t)}}, \quad (2)$$

где $N_{ij}(X^{(t)})$ – количество вагонов на i -е назначение во время расформирования j -го состава;

$T_j(X^{(t)})$ – продолжительность расформирования j -го состава;

z, k – соответственно, количество назначений и составов.

Значения N_{ij} и T_j по каждому варианту будут изменяться в зависимости от выбранной очередности расформирования $X^{(t)}$. Минимум целевой функции достигается за счет перестановки составов в очереди на обслуживание.

В качестве примера, демонстрирующего решение задачи по выражению (2), была рассмотрена очередь из трех составов. Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные задачи				
Назначе- ния	Составы			Остаток в СП
	1	2	3	
1	4	3	4	44
2	6	18	0	42
3	1	4	2	26
4	7	3	7	15
5	1	1	2	24
6	11	1	0	45
7	16	4	3	47
8	1	2	7	44
9	0	6	5	8
10	2	3	1	33
11	1	5	19	25
Всего	50	50	50	353
Тр, ч	0,29	0,31	0,3	
Тприб, ч	0	0,12	0,2	

Решив задачу простым перебором вариантов, получим следующие оценки каждого из вариантов очередности роспуска (приведено в табл. 2).

Как видно, оптимальной будет последовательность расформирования 1-3-2, что не соответствует порядку поступления составов.

Момент прибытия поезда является величиной, зависящей от множества случайных факторов. Насколько точным бы ни был прогноз, все равно он будет иметь отклонения от дейст-

вительности. В связи с этим задача ВОР также должна носить вероятностный характер.

Таблица 2

Результаты решения задачи согласно выражению (2)	
Последовательность расформирования	Вагоно-часы простоя
1-2-3	272,20
1-3-2	271,70
2-1-3	315,56
2-3-1	316,06
3-1-2	342,80
3-2-1	343,80

При выборе последовательности обработки составов необходимо учитывать возможные отклонения фактических моментов прибытия поездов от прогнозируемых, а также экономические, технологические и другие оценки этих отклонений и вероятности этих отклонений. В исследованиях будем исходить из того, что величина отклонений по прибытию является случайной, закон распределения которой можно установить по статистическим данным автоматизированных систем управления перевозками. Таким образом, приходим к 2-х этапной задаче стохастического программирования [2].

Каждый план очередности расформирования оценивается определенными затратами вагоно-часов простоя в сортировочном парке. При реализации плана, основанного на прогнозе прибытия поездов, оценки плана корректируются. Установив стохастические параметры модели задачи ВОР (моменты прибытия поездов и продолжительности обработки составов), перейдем к 2-х этапной задаче ВОР с учетом требований корректировки $Y = (X^{(t)}, \theta)$ плана $X^{(t)}$. Здесь $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$ – множество случайных состояний, характеризующих условия реализации плана $X^{(t)}$, для которых известны вероятности $\{p(\theta_i)\}_s$. Определим состояния θ как диапазоны отклонения фактического момента прибытия поезда от момента прибытия согласно прогнозу. Вероятности этих отклонений известны (см. рис. 1) и могут быть получены из статистических данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками.

Тогда с учетом возможных задержек модель 2-х этапной задачи имеет вид:

$$C^* = C + M[Y(X^{(t)}, \theta)] \longrightarrow \min, \quad (3)$$

где $M[*]$ – знак математического ожидания;

$Y = (X^{(t)}, \theta)$ – корректировка оценки плана $X^{(t)}$ согласно множеству $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$.

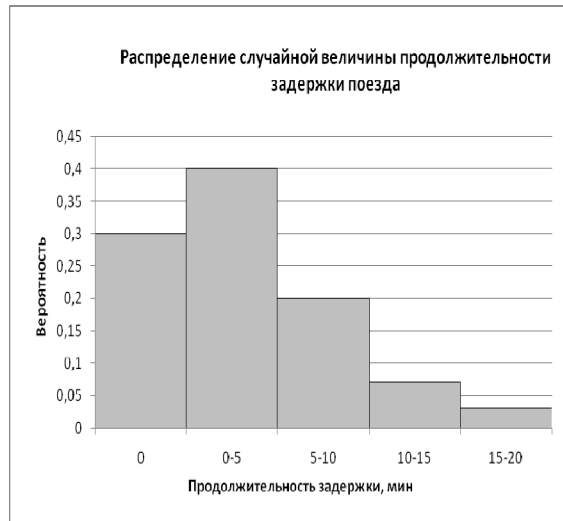


Рис. 1. Гистограмма распределения случайной величины отклонения фактических моментов прибытия поездов от моментов прибытия согласно прогнозу

Получив решение согласно выражению (3), и сравнив его с решением по выражению (2), получим следующие результаты (см. табл. 3):

Таблица 3

Сравнение вариантов расчетов согласно выражениям (2) и (3)

Последовательность расформирования	Вагоно-часы простоя	Вагоно-часы простоя с учетом задержек
1-2-3	272,20	296,01
1-3-2	271,70	297,96
2-1-3	315,56	338,51
2-3-1	316,06	339,25
3-1-2	342,80	365,75
3-2-1	343,80	366,75

Как видно из таблицы, оптимальные планы по двум расчетам отличаются. Из этого следует, что учет стохастических характеристик исходных данных задачи дает возможность принимать более точные управленческие решения.

План составообразования и план пропуска поездов является исходной информацией для планирования работы локомотивного парка и локомотивных бригад, поэтому задачу ВОР необходимо решать с учетом подвязки к работе локомотивного парка и локомотивных бригад.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гершвальд, А. С. Оптимальное управление процессами работы базовой станции опорного центра [Текст] / А. С. Гершвальд // Железные дороги мира. – 2002. – № 6.
2. Математические методы исследования операций [Текст] / Ю. М. Ермолев и др. – К., 1979.

Поступила в редколлегию 04.07.2008.

ПІДХОДИ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПРИКОРДОННИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Проаналізовано технологію роботи прикордонних станцій та визначені шляхи до її вдосконалення. На основі мереж Петрі розглянуто можливість формування системи підтримки прийняття рішень.

Проанализирована технология работы пограничных станций и определены пути к её совершенствованию. На основе сетей Петри рассмотрена возможность формирования системы поддержки принятия решений.

The technology of work of boundary stations is analysed and ways to its perfection are determined. On the basis of Petri networks the opportunity of formation of system of decision-making support is considered.

Постановка завдання

Для забезпечення стійкої роботи залізничного транспорту необхідний пошук ефективних інструментів впливу на транспортний ринок. Успіх тут набагато залежить від впровадження нових технологій організації роботи станцій, застосування сучасного обладнання для досягнення найбільшої ефективності їх роботи. Виникає необхідність постійного вдосконалення організації експортно-імпортних і транзитних перевезень, які виконують залізниці з передачею вантажів через сухопутні прикордонні переходи та перевалкою їх у морських портах, оптимізації взаємодії залізниць з митними, прикордонними та іншими державними органами та з іноземними залізницями. Таким чином, треба проаналізувати існуючу технологію роботи прикордонних станцій з метою виявлення недоліків у роботі та розглянути сучасні підходи до її вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень

Питанням удосконалення роботи прикордонних станцій присвячені роботи [1, 2], в яких розглянуто використання нових технологій, а саме: інформаційно-аналітичної системи узгодженого підводу вагонів і вантажів до пунктів призначення «Грузовой експрес», нових версій автоматизованих систем управління прикордонними станціями з використанням сучасних мережевих протоколів обміну, WEB-технологій, системи попереднього декларування вантажів. Також запропоновано виконання комерційного та технічного огляду поїздів сумісно бригадами двох сусідніх держав (станція Печори-Псковські Російської залізниці). Така

технологія дозволила проводити огляд вагонів тільки один раз, виключаючи повторний огляд составів на території Естонії, а також забезпечила вирішення питань, пов'язаних із збереженням вантажів [2].

Згідно з [3], робота прикордонної передавальної станції являє собою взаємодію трьох технологічних ліній: переробку експортно-імпортного вагонопотоку, обробку перевізних документів та інформаційне забезпечення функціонування станції. Виявлено, що на абсолютну пропускну спроможність підсистем «приймання» та «відправлення» в цілому впливає система обробки документів, для вдосконалення якої запропонована організація максимальної паралельної обробки перевізних документів всіма причетними службами за допомогою об'єднаних робочих місць.

В той же час автори не враховували нечіткість вхідної інформації, яку обробляє людина. Виникає потреба в аналізі великого обсягу даних, що спричиняє ряд проблем, пов'язаних з можливостями людини оперувати з потоком інформації та оперативності прийняття відповідних рішень. Тут доцільне впровадження ситуаційної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє оптимізувати технологічний процес обробки составів на прикордонних станціях.

Вирішення наукового завдання

Аналіз сучасної технології роботи прикордонних станцій показав, що на деяких прикордонних станціях (Куп'янськ-Сортувальний, Харків-Сортувальний) нещодавно пункти комерційного огляду були облаштовані автоматизованою системою комерційного огляду поїздів

і вагонів, яка дозволяє проводити комерційний огляд составів у процесі їх руху з моніторів, встановлених у приміщеннях працівників ПКО. Ця система дозволила скоротити комерційний огляд поїздів у середньому на 20 хвилин.

Суттєво відзначити, що в останній час має місце тенденція скорочення часу огляду поїздів митними органами. Але поки ще нешироко застосовується вибірковий митний контроль на кордоні з використанням системи аналізу управління ризиками таким чином, щоб звести до мінімуму огляд вагонів на прикордонних станціях, а значить, зменшити їх простої, з одночасним посиленням митного контролю на станціях відправлення та призначення вантажів. Аналіз технології перетинання вагонами прикордонних станцій показав, що не завжди доцільно виконувати повторний митний огляд вантажів на шляху прямування та в місцях їх відправлення з митної території України на умовах пред'явлення перевізником акта митного огляду митників станції відправлення, цілісності контейнерів, кузовів, запірно-пломбувальних пристроїв (пломб), а також відсутності в перевізних документах незавірених виправлень або ознак підробки. Але, нажаль, це можливо застосувати тільки при внесенні відповідних змін до Митного кодексу України.

Аналіз технології залізничних вантажних перевезень при перетинанні кордону України показав, що сучасні методи передбачають перевантаження вантажів з вагонів колії 1435 мм у вагони колії 1520 мм і навпаки (ст. Чоп, Мостиська-2, Ягодин) та перестановку візків вагонів. У зв'язку з цим на таких прикордонних станціях виконується більше в порівнянні з вантажними станціями, що не передбачають перевантажувальні роботи, число додаткових технічних та вантажних операцій, більша частина з яких має значну тривалість. Так, час обробки вагонів на прикордонній перевантажувальній станції в 1,5 рази більший, ніж на вантажних. Це обумовлено особливостями організації міжнародних перевезень, в тому числі виконанням приймально-здавальних операцій з вантажами, великими витратами часу на перевантажувальні операції, простоями вантажних вагонів колії 1435 мм в очікуванні підводу порожніх вагонів колії 1520 мм.

Тривалість перевантаження вагонів, наприклад, на станції Чоп Львівської залізниці складає 387 хв. На деяких станціях (Ягодин, Мостиська-2) цей процес часто досягає декількох діб. Загальна тривалість обробки поїзда з пере-

становкою візків складає в середньому 7 годин, в тому числі сама перестановка візків – 300 хв.

В цій ситуації можливо розглянути застосування візків з саморегульованою колісною парою SUW 2000-1 та автоматичним колієпровідним пристроєм нового покоління, який забезпечує зміну ширини колії колісної пари в автоматичному режимі в процесі руху поїзда. Тут постає питання про розробку та впровадження нової технології – Intergauge, яка має зменшити тривалість виконання операцій, пов'язаних з перетином кордону вантажними поїздами. В результаті час на обробку поїзда з використанням розсувних колісних пар SUW-2000-1 складає 220 хв, що значно менше, ніж при застосуванні існуючих технологій [4].

При зростаючих обсягах перевезень продовжуються значні простої вагонів і составів із зовнішньоторговельними вантажами в очікуванні подачі до фронту вивантаження в порти. Основними причинами цих простоїв, які приносять залізницям значні збитки в умовах дефіциту вантажних вагонів, є відсутність узгодженої технології навантаження та підводу вантажів до портів, пов'язаної з підводом судів, відсутність вільних місць на причалах і в складах порту, а також незадовільна організація роботи за прямим варіантом перевантаження «вагон – борт судна».

Необхідно відмітити, що на роботу портів значно впливають природні явища, наприклад, різке посилення вітру або випадіння великих осадів, що призводить майже до припинення роботи порту і, у зв'язку з цим, до довготривалого очікування вагонами перевантаження на припортових станціях.

Одним із напрямків удосконалення роботи прикордонних станцій є впровадження електронного інформаційного обміну між митними та залізничними органами, що дозволить скоротити час, необхідний для обробки вантажів та здійснення митного контролю на залізничних пунктах пропуску, зменшити простої вагонів, пов'язаних з невірним або неточним оформленням транспортних документів, формувати на основі придбаної попередньої інформації необхідні для митних цілей документи

Вагомий ефект для збільшення пропуску поїздів через прикордонні станції дає використання промислового телебачення. Воно дозволяє вести спостереження за прибуттям і відправленням поїздів. Монітори спостереження встановлюють у приміщеннях прикордонної служби. Впровадження телеспостереження на

станціях дозволить організувати паралельну обробку составів, скоротити простой поїздів з експортними вантажами за рахунок вивільнення штату прикордонників, зайнятих на охороні території станції для виконання огляду поїздів. Час на обробку поїзда може зменшитися зі 100 до 10 хв. Систему відеоспостереження треба впроваджувати на всіх крупних прикордонних станціях.

Сучасні умови організації роботи прикордонних станцій передбачають масштабне використання систем електронного документообігу, завдяки яким можливо одержувати дані про поїзний стан на підходах до прикордонних станцій, стан накопичення вагонів на состав поїзда та інше. При великому масиві даних виникає питання оперативності прийняття доцільних рішень, які приймає людина-оператор, і разом з цим розглянути впровадження ситуаційної системи підтримки прийняття рішень. Завдяки таким системам в оперативному режимі видаються рішення у зрозумілому для людини форматі з урахуванням нечіткості в роботі та у зв'язку з цим зменшується час на аналіз відповідної ситуації, розроблення стратегії, наприклад, по відправленню поїзда з прикордонної станції до іншої держави.

В результаті аналізу технології роботи прикордонних станцій встановлено, що основні компоненти технологічного процесу на більшості таких станцій мають однакові риси. Тому запропоновано розглянути одну з ланок технологічного процесу – модель обробки транзитного вагонопотоку з переробкою по прибуттю на прикордонну станцію, що відображена в мережах Петрі (рис. 1). Модель дає можливість вивчення динаміки функціонування системи та її поведінки при різноманітних початкових умовах і відповідно організувати роботу таким чином, щоб зменшилися простой вагонів по окремих елементах системи.

Мережа Петрі є різновидом орієнтованого графа. Структура мережі задається згідно [5, 6] набором

$$N = (P, T, F, W, M_0),$$

де P – кінцева безліч позицій;
 T – кінцева безліч переходів;
 F – відношення інцидентності;
 W – кратність дуги;
 M_0 – початкове маркування.

Модель обробки транзитного вагонопотоку з переробкою по прибуттю на прикордонну станцію має наступні умови:

- p_1 – наявність поїздопотоку на коліях прийому;
- p_2 – состав готовий до технічного огляду;
- p_3 – состав готовий до комерційного огляду;
- p_4 – состав готовий до митного огляду;
- p_5 – пересилка перевізних документів до СТЦ по прибуттю;
- p_6 – наявність вільного оператора СТЦ по прибуттю;
- p_7 – документи обробляються в СТЦ по прибуттю;
- p_8 – документи готові до обробки в ПрикордонТЕК;
- p_9 – наявність вільної бригади технічного огляду;
- p_{10} – виконується технічний огляд вагонів;
- p_{11} – наявність вільної бригади комерційного огляду;
- p_{12} – виконується комерційний огляд вагонів;
- p_{13} – наявність вільних працівників митної служби;
- p_{14} – виконується митний огляд вагонів;
- p_{15} – наявність вільного оператора ПрикордонТЕК;
- p_{16} – документи обробляються в ПрикордонТЕК;
- p_{17} – документи готові до обробки в конторі передач;
- p_{18} – состав готовий до розформування після технічного огляду;
- p_{19} – состав готовий до розформування після комерційного огляду;
- p_{20} – состав готовий до розформування після митного огляду;
- p_{21} – наявність вільного оператора ЕОМ;
- p_{22} – документи обробляються в конторі передач;
- p_{23} – документи готові до обробки в карантинній службі;
- p_{24} – наявність вільного інспектора карантинної служби;
- p_{25} – документи обробляються в карантинній службі;
- p_{26} – документи готові до обробки в екологічній службі;

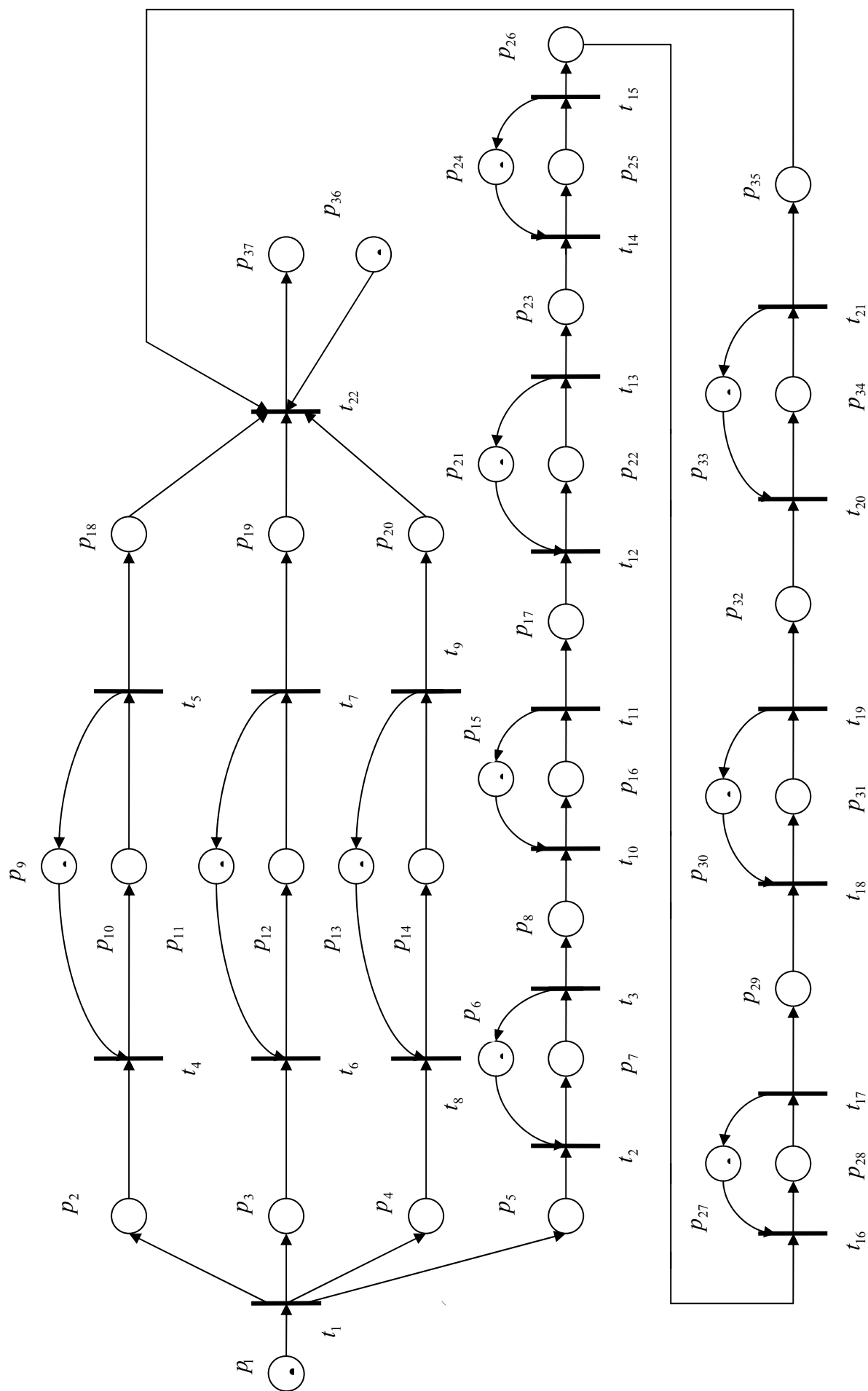


Рис. 1. Модель обработки транзитного вагонопотоку з переробкою по прибуттю на прикордонну станцію

p_{27} – наявність вільного інспектора екологічної служби;

p_{28} – документи обробляються в екологічній службі;

p_{29} – документи готові до обробки декларантами;

p_{30} – наявність вільного декларанта;

p_{31} – документи обробляються декларантами;

p_{32} – документи готові до обробки в митній службі;

p_{33} – наявність вільного інспектора митної служби;

p_{34} – документи обробляються в митній службі;

p_{35} – наявність документів оброблених усіма причетними службами;

p_{36} – наявність вільного локомотива;

p_{37} – наявність складу, що насувається на вантаж.

При цьому можуть відбуватися наступні події:

t_1 – відчеплення локомотива, огороження складу;

t_2 – початок обробки документів у СТЦ;

t_3 – обробку документів у СТЦ закінчено;

t_4 – початок технічного огляду складу;

t_5 – технічний огляд закінчено;

t_6 – початок комерційного огляду складу працівниками ПКО;

t_7 – комерційний огляд закінчено;

t_8 – початок митного огляду складу працівниками митниці;

t_9 – митний огляд закінчено;

t_{10} – початок обробки документів у ПрикордонТЕК;

t_{11} – обробку Документів у ПрикордонТЕК закінчено;

t_{12} – початок обробки документів у конторі передач;

t_{13} – обробку документів у конторі передач закінчено;

t_{14} – початок обробки документів у карантинній службі;

t_{15} – обробку документів у карантинній службі закінчено;

t_{16} – початок обробки документів в екологічній службі;

t_{17} – обробку документів в екологічній службі закінчено;

t_{18} – початок обробки документів декларантами;

t_{19} – обробку документів декларантами закінчено;

t_{20} – початок обробки документів у митній службі;

t_{21} – обробку документів у митній службі закінчено;

t_{22} – зняття огороження, заїзд локомотива.

Висновки

Таким чином, запропоновано вдосконалення технології роботи прикордонних станцій шляхом розробки системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє оптимізувати процес приймання та відправлення поїздів з таких станцій, використовуючи існуючі потужності та зменшити простої вагонів. Одну з ланок технологічного процесу формалізовано на основі мереж Петрі, що дає можливість вивчення структури та динамічного поводження системи.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ивлев, С. Л. На основе реконструкции и новых технологий. Опыт станции Печоры-Псковские [Текст] / С. Л. Ивлев // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 7. – С. 17-21.
2. Ромашкова, Г. М. Совершенствование передачи грузов через пограничный переход [Текст] / Г. М. Ромашкова, Д. В. Железнов, Н. О. Азбукин // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 7. – С. 28-30.
3. Титов, Н. Ф. Повышение эффективности функционирования технических пограничных станций железных дорог Украины [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Н. Ф. Титов. – Х.: ХарДАЗТ, 1999.
4. Intergauge-технологія – шлях інтеграції залізниць країн СНД та Європейського Співтовариства [Текст] / В. О. Шиш та ін. // Залізничний транспорт. – 2006. – № 4. – С. 3-8.
5. Питерсон, Д. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Д. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 254 с.
6. Котов, В. Е. Сети Петри [Текст] / В. Е. Котов. – М.: Наука, 1984. – 157 с.

Надійшла до редколегії 16.07.2008.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕСНЫХ ПАР С РЕЛЬСАМИ ПУТИ

Запропоновано методику розрахунку початкових точок контакту при взаємодії сімейства колісна пара – рейки. Досліджені стани колісної пари, з'ясовані типи її можливих особливих станів, перекидання елементів рухомого складу і сходження з рейок.

Предложена методика расчета начальных точек контакта при взаимодействии семейства колесная пара – рельсы. Исследованы состояния колесной пары, установлены типы ее возможных особых состояний, опрокидываний элементов подвижного состава и схода с рельсов.

This article offers the methods of calculation of the start points of contact during wheel set-rails family interaction. The states of wheel set are investigated; the types of possible specific wheel set states, turning-over of rolling stock elements and their derailment are determined.

Вступление

Задачи взаимодействия тел при условии, что одни тела перемещаются относительно других тел, относятся к классу сложных задач. Потому, что процессы перемещения тел не стационарные, силы взаимодействия тел диссипативные и наперед неизвестны. Кроме того, при решении задач взаимодействия твердых тел (как жестких, так и деформируемых) в комплексе требуется решать вопросы о: нахождении положений касательных плоскостей в местах их контакта, нахождении и исследовании равновесных состояний, положениях метacentров, значений «метавысот» одних тел по отношению к другим телам и другое. Обычно, для упрощения решения этих вопросов в задачах взаимодействия тел формы тел выбираются простыми, или точки их «начального» соприкосновения задаются так, чтобы упростить построение направлений и мест приложений реакций, систем координат и прочее. Однако реально взаимодействующие тела могут иметь непростые формы, представляющие собой в глобальной системе координат параметрические семейства с заранее не известными «начальными» точками соприкосновения.

В данном сообщении рассматривается элемент декомпозиции задачи взаимодействие реальных тел – отдельной колесной пары в процессе ее движения по рельсам (предполагается известной динамика колесной пары) и проводится некоторый анализ состояний колесной пары как параметрического семейства. Профили рельсов и колеса являются кусочно-гладкими [4, 8] и в процессе движения колесной пары точка контакта (точка «начального» соприкосновения) изменяют свое положение.

При нахождении точки контакта тела обычно рассматривают как абсолютно жесткие, колесо и рельсы тогда контактируют в изолированных точках, в которых их мгновенные скорости совпадают, и используется методика определения «начальной» точки соприкосновения, основанная на совмещении колесной пары с рельсами при смещении колесной пары поперек колеи (см., например, [3]). Другой подход изложен в работе [2]. В основе этого подхода лежит идея, в соответствии с которой тела вступают в контакт в вынужденных или в подходящих точках. При таком подходе, в отличие от первого, удается обнаружить особые состояния семейства колесных пар, найти их метacentры и метacentрические высоты единиц подвижного состава на любых участках железнодорожного пути, а также ширины свободного хода колесных пар и другие показатели безопасного и комфортного движения поездов.

Методика решения задачи

Так как уравнения профилей поверхностей катания колес и головок рельсов задаются инструкциями и ГОСТами в местных системах координат [4, 8], то введем четыре локальных системы координат: две для колес и две для рельсов. Пусть локальные системы координат для левого и правого колес соответственно (O_i, ξ_i, η_i) , а для левого и правого рельса пути (O_i^*, x_i, y_i) , $i=1,2$. Тогда соответствующие уравнения профилей колес и головок рельсов можно представить выражениями:

$$f_i(\xi_i, \eta_i) = 0, \quad \varphi_i(x_i, y_i) = 0, \quad i=1,2. \quad (1)$$

Очевидно, что колесная пара есть тело вращения, поэтому удобно записать уравнения

профилей колес из выражений (1) в подвижной декартовой системе координат $(O^*, \xi, \eta, \varsigma)$

$$f_i(\xi, \eta, \varsigma) = 0, \quad (2)$$

расположив начало системы в геометрическом центре симметрии, а ось ξ направив вдоль оси вращения колесной пары. Уравнения профилей колес в форме (2) учитывают диаметр круга катания, расстояние между колесами и другие характеристики колесной пары.

Рассмотрим, наконец, неподвижную (для фиксированного времени движения колесной пары) декартовую систему координат (O, x, y, z) . Пусть ее начало координат расположено посередине рельсового пути, горизонтальная ось x направлена перпендикулярно пути, а ось z вдоль рельсового пути. Теперь уравнения профилей рельсов из соотношений (1) с учетом рельсовых подуклонок, междурельсового расстояния, высоты подъема одного рельса по отношению к другому и других параметров пути можно записать в неподвижной системе в следующем виде:

$$\varphi_i(x, y, z) = 0, \quad i = 1, 2. \quad (3)$$

Точки контакта взаимодействующих тел следует разыскивать в общей системе координат (подвижной или неподвижной). Например, если координаты точки O^* в неподвижной системе известны $(O^*)^T = (X, Y, Z)$, то связь между координатными векторами $V^T = (x, y, z)$ и $\Psi^T = (\xi, \eta, \varsigma)$ следующая [5]:

$$V = A\Psi + O^*. \quad (4)$$

Так как матрица A преобразования (4) не вырожденная, то вынужденные точки контакта на рельсах и колесах находятся из системы уравнений:

$$V_i^T = (V_i - O^*)^T (A^{-1})^T; \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

при условиях (2), (3) и (4).

Точки контакта колес и рельсов будем называть подходящими, если имеет место решение задачи (2)–(5), и на их профилях в начальных точках контакта существуют общие касательные плоскости

$$Df_i(x, y, z) = 0, \quad D\varphi_i(x, y, z) = 0; \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

Задачи (2)–(5) и (2)–(6) нелинейные, определенные на кусочно-непрерывных функциях, поэтому их решение можно найти только численными методами, например, используя авто-

матизированную систему [2]. Очевидно, умея находить координаты вынужденных (подходящих) точек контакта, можно проводить анализ состояний колесной пары и ставить корректные задачи взаимодействия колесной пары с рельсами на различных участках пути.

Остановимся на вопросе исследования состояний колесной пары как семейства ее параметров и параметров пути.

Характеристики колесной пары и рельсового пути с позиций функциональных семейств [7] образуют пространство управляющих параметров C .

Матрица A соотношения (4) может быть построена путем преобразований [9] поворота на угол γ (угол поперечных колебаний колесной пары) вокруг оси z и поворота вокруг оси y на угол β (угол виляния колесной пары). Примем углы γ и β за переменные параметры состояния колесной пары, тогда размерность конфигурационного пространства W колесной пары равна двум.

За состояние колесной пары примем положение ее центра массы O^* так, что:

$$O^* = \begin{pmatrix} X(\gamma, \beta, C), \\ Y(\gamma, \beta, C), \\ Z(\gamma, \beta, C) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Соотношение (7), с одной стороны, задает орбиты состояний (движений) $R \subset W$ колесной пары, а с другой – позволяет установить типы особенностей семейства состояний колесной пары и определить размерность семейства C .

Исследования состояний семейства колесных пар удобно выполнять для потенциальной энергии этого семейства, которая отличается постоянным множителем от координаты центра масс колесных пар $Y = Y(\gamma, \beta, C)$.

Равновесные (особые) состояния колесной пары находятся из обычного условия

$$\frac{\partial Y}{\partial \gamma} = 0, \quad \frac{\partial Y}{\partial \beta} = 0. \quad (8)$$

Система уравнений (8) задает довольно сложное равновесное параметрическое многообразие.

Типы особенностей равновесных состояний семейства $Y = Y(\gamma, \beta, C)$ зависят от их вырождения. Вырожденность равновесных состояний семейства колесных пар определяются вырожденностью матрицы Гессе:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 Y}{\partial \gamma^2} & \frac{\partial^2 Y}{\partial \gamma \partial \beta} \\ \frac{\partial^2 Y}{\partial \beta \partial \gamma} & \frac{\partial^2 Y}{\partial \beta^2} \end{pmatrix}.$$

Простые типы вырождений в зависимости от размерности пространства C установлены классификационной теоремой Р. Тома [7]. По типам особенностей семейства можно определить устойчивость его состояний, перестройки состояний, т.е. изменения состояний при переходе от устойчивых – к неустойчивым и наоборот, перескоки (катастрофы) и другие поведения семейства.

Выбрав необходимые для исследований направления вырождения потенциальной энергии колесной пары, можно найти метacentры (эволюты траекторий состояний колесной пары) $M_{\text{ц}}(\gamma, \beta, C)$, которые, по Эйлеру, служат точками подвеса на нерастяжимой нити колеблющегося физического тела. Если пренебречь колебаниями вагона (локомотива) на колесных тележках и жестко связать вагон с колесными парами, то метacentр колесной пары можно принять в первом приближении за метacentр вагона – для вагонных колес и локомотива – для локомотивной колесной пары. Положения метacentров вагонов и локомотивов связано с их возможным опрокидыванием (остойчивостью). Показатель опрокидывания единиц подвижного состава можно характеризовать метacentрической высотой («метавысотой»): как разность между положениями метacentра и положением центра тяжести вагона, локомотива и других единиц. По нашему мнению, при исследовании причин аварий на железнодорожном транспорте недооценивается показатель опрокидывания единиц подвижного состава и в частности показатель их «метавысоты».

Изложим некоторые результаты расчетов, полученные с помощью этой методики на примере задачи (2)–(6).

Некоторые результаты решения задачи взаимодействия

Анализ профилей колес указывает на то, что функции, их описывающие, невыпуклые и невогнутые. Поэтому следует ожидать при переходе через точки изменения вогнутости (например, точка излома конусностей профилей колес) встречи с «сюрпризами». Кроме того, т.к. поверхность рельса есть выпуклая, то возможно нарушение теоремы 1 работы [1].

На рис. 1–3 для вагонного колеса и рельса

Р65 при нормальной рельсовой подуклонке с междурельсовым расстоянием $l = 1520$ мм видны проявления этих «сюрпризов» даже на ровном участке пути.

Из рис. 1 следует, что орбита R центров масс колесной пары разрывная. Разрыв при малых значениях абсциссы x и малых поперечных углах отклонения колесной пары γ от значения $\gamma = 0^\circ$ вызван переходом точки контакта на конусность гребня (см. рис. 2 и 3).

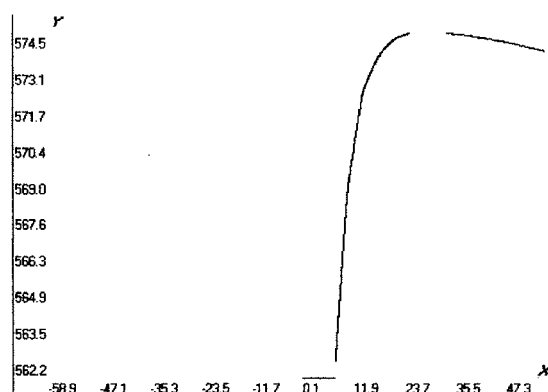


Рис. 1. Орбита центров масс колесной пары

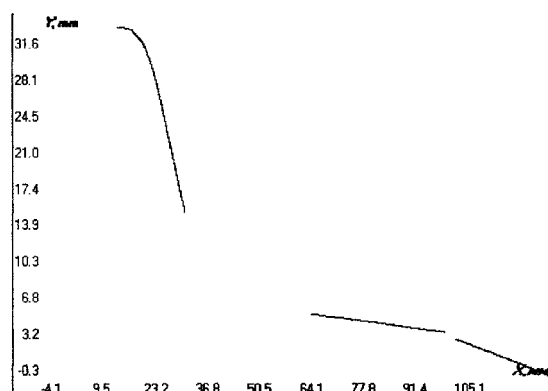


Рис. 2. Координата точки контакта на колесе

Напоминаем, что решается задача по нахождению подходящих точек контакта.

Второй разрыв происходит при больших значениях величин x и γ . Этот разрыв начинается тогда, когда в контакт попадает точка излома конусностей на одном колесе и точки гребня – на другом. Разрывы состоят из неподходящих точек. Множество неподходящих точек второго разрыва содержит неустойчивые критические состояния колесной пары, соответствующие ее сходу с рельсов. По нашему мнению, за критическое состояние схода с рельсов колесной пары можно принять нижнюю критическую границу множества неподходящих точек второго разрыва. Качественно

такие же орбиты состояний будут и при другом междурельсовом расстоянии – 1524 мм.

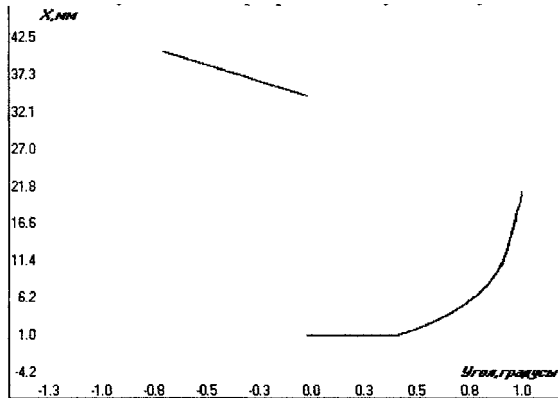


Рис. 3. Точки контакта на рельсе

Величины нижних критических границ отклонений для вагонного и локомотивного колес приведены в табл. 1.

Таблица 1

Величина критического отклонения колесной пары в мм, Р65

Тип колеса	Отклонение	Примечание <i>l</i>
Вагонное	12,205	1520
	12,546	1524
Локомотивное чертеж 2	24,639	1520
	23,070	1524

Кроме этого, при малых углах поперечных колебаний γ из зависимостей (7) определяется ширина свободного хода колесных пар. Значения ширины свободного хода для двух видов колес приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ширина свободного хода колесной пары в мм, Р65

Тип колеса	Ширина	Примечание <i>l</i>
Вагонное	15,116	1520
	18,980	1524
Локомотивное чертеж 2	16,830	1520
	20,555	1524

Состояние колесной пары, если исключить разрывы, типично и эквивалентно ее состояниям при решении задачи (2)–(5) и имеет вырожденный тип особенности двойственную сборку ($\dim C = 2$) в направлении оси γ , а в направле-

нии β – невырожденную неустойчивую особенность [1]. В соответствии с типом особенности состояния колесной пары в направлении γ , опрокидывание элемента подвижного состава происходит при достижении недопустимого возвышения одного рельса над другим через слияние устойчивого состояния, в котором находилась колесная пара, с неустойчивым состоянием. Потеря устойчивости колесной пары в направлении невырожденного вливания β сопровождается ее провалом в междупутье.

При малых возмущениях потенциальная энергия ведет себя как морсовское седло [7]: устойчивое в поперечном направлении колебаний и неустойчивое в направлении вливания колесной пары.

При поперечных колебаниях колесной пары и малых углах γ согласно приведенной методике удастся найти точку подвеса Эйлера как $E_{\text{ц}} = \min_{\gamma} \{M_{\text{ц}}\}$.

Для колесных пар метacentр $E_{\text{ц}}$ – вершина полукубической параболы

$$\eta = -\alpha_1 \gamma^3, \quad \xi = \alpha_2 + \alpha_3 \gamma^2, \quad \alpha_i > 0.$$

Если функции семейства колесо – рельс задаются $\varphi(x) = \sqrt{r^2 - (x-a)^2} + b$ – профилем рельса, и $f(x) = \pm kx - m$ – профилем колеса, то

$$\alpha_1 = -4 \frac{B^2}{C}, \quad \alpha_3 = 3B,$$

$$\alpha_2 = b - Ak + m + r\sqrt{l+k^2} + \frac{K^2}{2B},$$

$$A = a + x_p, \quad B = A \frac{l+k^2}{k} - \frac{m}{2} - r \frac{\sqrt{l+k^2}}{2},$$

$$K = \frac{l+k^2}{k} \left(A - \frac{rk}{\sqrt{l+k^2}} \right) - m,$$

где $l = 2x_p$ – ширина колеи.

Изменение ширины колеи с 1524 мм на 1520 мм и радиуса головки рельса с 300 мм на 500 мм незначительно изменяют метacentр $E_{\text{ц}}$ (на 10...20 мм) по сравнению с его значением: для вагонного колеса – 8 м и локомотивного (чертеж 2) – 4 м.

Следует отметить, что переход на рельсы с радиусом головки 500 мм при прежней ширине пути 1520 мм привел к тому, что точка контакта, для вагонного колеса при значении $\gamma = 0^\circ$ и нормальной рельсовой подуклонке, попадает в

центр рельса и, следовательно, нормальная составляющая нагрузки действует вдоль оси рельса. Локомотивные же колеса создают момент, выворачивающий рельсы внутрь колеи. Этот момент легко определяется.

Пусть на ось колесной пары действует сосредоточенная сила P , тогда нормальная Q_n , и тангенциальная Q_τ ее составляющие в точке контакта (x_0, y_0) на рельсе будут:

$$Q_n = \frac{P \cos(\lambda - \alpha)}{2 \cos \lambda}, \quad Q_\tau = \frac{P \sin(\lambda - \alpha)}{2 \cos \lambda}.$$

При значениях $\operatorname{tg} \lambda = 1/10$, $\operatorname{tg} \alpha = 1/20$ силы $Q_n \approx P/2$, $Q_\tau \approx P/40$.

Эти силы порождают моменты: $M_n = Q_n h$ и $M_\tau = Q_\tau H$, для которых $h = 12,375$ мм и $H = 179,817$ мм. Тогда результирующий момент $M = M_n + M_\tau \approx 1,7P$.

Так как жесткость рельса намного больше жесткости основания, на которое он опирается, то примем рельс за абсолютно твердое тело, которое воздействует на упругое основание и воспользуемся результатами работы [6]. Тогда для подсчета угла поворота ε головки рельса можно воспользоваться формулой этой работы

$$\varepsilon = \frac{360(k+1)}{\mu \left(1 + 4 \left(\frac{\ln k}{2\pi} \right)^2 \right) q^2}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad k = 3 - 4\nu,$$

где E , ν – упругие постоянные основания, на которые опирается рельс, $q = 150$ мм – ширина подошвы рельса.

Так, при повороте рельса на угол $\varepsilon = 0,5^\circ$, точка с координатами $\tilde{x} = -35,6741$ мм, $\tilde{y} = 164,3519$ мм (начало декартовой системы координат, взятой в середине подошвы, и ось x направлена вдоль подошвы рельса) смещается на 1,5 мм внутрь рельсового пути, уменьшая зазор между гребнем колеса и рельсом.

Таким образом, сужение ширины железнодорожной колеи на 4 мм в колее 1520 мм устраняет необходимый минимальный зазор в 3 мм между гребнями колес и головками рельсов.

Выводы

Предложенная методика и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- выполненные по предложенной методике расчеты согласуются с реальностью и являются правдоподобными;
- для колесных пар высшим типом особенности состояний является двойственная сборка;
- малые колебания колесной пары поперек рельсового пути устойчивые, а виляния – неустойчивые;
- поперечные колебания колесных пар, не превышающие величин критических отклонений (см. табл. 1), безопасны для движений экипажа на ровном участке пути;
- метацентры колесных пар можно принять за метацентры элементов подвижного состава;
- показатели метавысот элементов подвижного состава являются важными для безопасности движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Босов, А. А. Влияние профиля колеса на устойчивость движения колесной пары [Текст] / А. А. Босов, В. М. Ильман // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: межвуз. сб. науч. тр. – Д., 1997. – С. 64-72.
2. Босов, А. А. Автоматизированная система «Колесо – рельс» [Текст] / А. А. Босов, В. М. Ильман // Республ. науч.-метод. конф. «Компьютерное моделирование»: тези доп. – Дніпродзержинськ, 1998.
3. Есаулов, В. П. Моделирование прохождения одиночной колесной парой круговой кривой для реальных профилей колеса и рельса [Текст] / В. П. Есаулов, А. В. Солодовский // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава: сб. науч. тр. ДИИТа. – 1994. – С. 55-60.
4. Есаулов, В. П. Цельнокатанные железнодорожные колеса с комплексно-криволинейной поверхностью катания [Текст] / В. П. Есаулов, А. И. Козловский, М. И. Старосельский. – Д.: Січ, 1997. – 272 с.
5. Курош, А. Г. Курс высшей алгебры [Текст] / А. Г. Курош. – М.: Физматгиз, 1962. – 432 с.
6. Мухелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости [Текст] / Н. И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1966. – 708 с.
7. Постон, Т. Теория катастроф и ее приложения [Текст] / Т. Постон, И. Стюарт. – М.: Мир, 1980. – 608 с.
8. Шарбатов, И. Т. Справочная книга бригадира пути [Текст] / И. Т. Шарбатов. – М.: Транспорт, 1985.
9. Математика и САПР. – Кн. 1 [Текст] / П. Шенен и др. – М.: Мир, 1988. – 208 с.

Поступила в редколлегию 01.09.2008.

Т. Ф. МИХАЙЛОВА (ДІТ), О. В. ПІСКУНОВА (КНЕУ ім. В. Гетьмана, Київ),
А. А. ЗАКІН (Дніпропетровська державна фінансова академія)

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗВЕДЕНОГО БЮДЖЕТУ УКРАЇНИ ВІД АГРЕГОВАНОЇ ПОДАТКОВОЇ СТАВКИ

Побудовано криву Лаффера для економіки України на основі статистичних даних за період з 1998 по 2006 рр. Порівняння середньої величини сукупної номінальної податкової ставки, встановленої в Україні, з розрахованою нами оптимальною ставкою показує, що отримане значення оптимальної сукупної номінальної податкової ставки в чотири рази менше за встановлене в Україні.

Построена кривая Лаффера для экономики Украины на основе статистических данных за период с 1998 по 2006 гг. Сравнение средней величины совокупной номинальной налоговой ставки, установленной в Украине, с рассчитанной нами оптимальной ставкой показывает, что полученное значение оптимальной совокупной номинальной налоговой ставки в четыре раза меньше установленного в Украине.

The Laffer curve for the economy of Ukraine on the basis of statistical data for the period from 1998 to 2006 has been constructed. Comparison of the average value of total nominal tax rate fixed in Ukraine with the optimum rate calculated by us has shown that the value obtained for optimum total nominal tax rate is four times less than the one established in Ukraine.

Постановка проблеми. В сучасних умовах трансформації економіки України великого значення набуває створення ефективного податкового механізму. На сьогодні надмірність податкового тягаря не дає змоги виробничим структурам вести нормальну економічну діяльність. Суттєво знижує потенціал податкової системи тіньова економіка. Вирішення цих проблем потребує поглиблених наукових досліджень щодо визначення оптимального рівня податкового навантаження в державі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам фіскального регулювання економіки присвячено досить багато наукових робіт. Центральне місце у дослідженнях впливу податкового навантаження на економіку і обсяги податкових надходжень посідає концепція кривої Лаффера. До числа робіт цього напрямку відносяться, зокрема, праці [1, 3], в яких реалізована методика емпіричної побудови кривих Лаффера для української економіки. Однак питання аналізу взаємодії податкової системи з економікою України лишається й досі актуальним.

Метою даної статті є дослідження впливу сукупної податкової ставки на обсяг податкових бюджетних надходжень для зведеного бюджету України та визначення відповідності оптимальному податковій системі України за допомогою кривої Лаффера.

Основний зміст роботи. Як відомо з економічної теорії, при великому податковому навантаженні на економіку країни частина пра-

цюючих підприємств може припинити діяльність або піти у «тінь», що, у свою чергу, може негативно вплинути на економічне зростання в країні. Для дослідження впливу податкового навантаження на економічне зростання в Україні проаналізуємо, як впливають податкові ставки на податкові надходження.

Залежність між величиною сукупної податкової ставки і обсягом податкових бюджетних надходжень описується за допомогою кривої Лаффера. Її економічний зміст полягає в тому, що збільшення сукупної податкової ставки не завжди супроводжується збільшенням податкових бюджетних надходжень. При встановленні величини податкової ставки, що перевищує певну межу, спостерігається не збільшення, а, навпаки, зменшення податкових надходжень до бюджету.

Одним із можливих теоретико-математичних описів кривої Лаффера є опис за допомогою степеневі та експоненціальної функцій [1].

Нехай маємо всього N підприємств у державі з середнім доходом, що складає величину p для кожного з них. Вважаємо, що в залежності від величини податкової ставки кожне підприємство може прийняти одне з двох рішень – або займатись виробництвом товарів та послуг, або – ні. Якщо прийняти, що однією з найвагоміших величин в оподаткуванні є доход підприємств, то можливі податкові надходження до бюджету $F(x)$ можна записати як добуток

кількості підприємств $n(x)$, які працюють при деякій встановленій сукупній податковій ставці (далі – податкова ставка), величини податкової ставки x ($0 \leq x \leq 1$) і середнього доходу підприємства p , тобто

$$F(x) = n(x) \cdot p \cdot x. \quad (1)$$

Якщо встановити ставку податку $x=0$, то зрозуміло, що всі підприємства матимуть найкращі умови для господарської діяльності ($n(0) = N$), але податкові надходження будуть відсутні. Якщо встановити ставку податку $x=1$ (на рівні 100%), то жодному з підприємств працювати не вигідно, і вони можуть закритися всі, тобто $n(1) = 0$ і $F(1) = 0$.

У найпростішому випадку можна покласти лінійний закон залежності кількості підприємств $n(x)$, які беруть участь у виробництві, від рівня податкової ставки x у виді $n(x) = N(1-x)$ (рис. 1, крива 1). Тоді величина податкових надходжень в залежності від величини податкової ставки буде визначатись формулою:

$$F(x) = p \cdot x \cdot N \cdot (1-x). \quad (2)$$

Ця залежність і буде визначати вид кривої Лаффера за зроблених припущень (рис.2, крива 1).

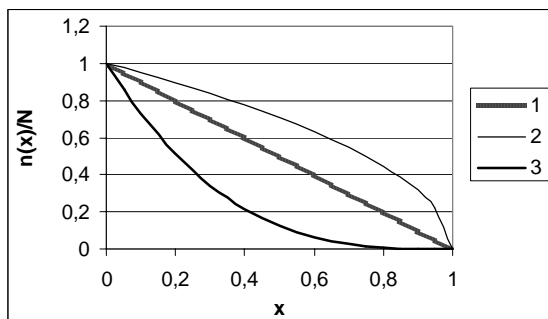


Рис. 1. Види залежностей кількості підприємств $n(x)$, які беруть участь у виробництві, від рівня податкової ставки x

Якщо національна економіка має стабільні темпи росту, то крива $n(x)$ буде надлінійною («оптимістичною»): при збільшенні величини податкової ставки x в області $[0; x_a]$ ($x_a < 1$) навіть для досить великих значень x_a кількість підприємств, що перестають працювати буде змінюватись незначно. За економічного спаду крива $n(x)$ буде сублінійною («песимістичною»): навіть незначне збільшення податкової ставки x в області $[0; x_a]$ для невеликих зна-

чень x_a призводить до значного скорочення кількості працюючих підприємств.

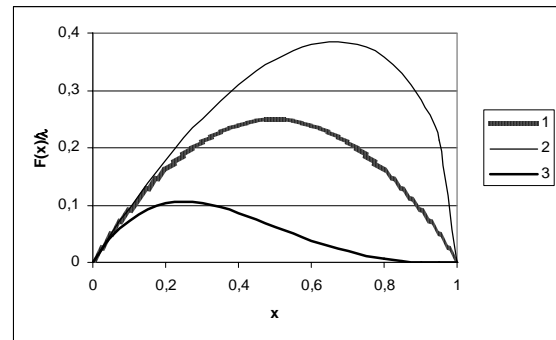


Рис. 2. Форми кривих Лаффера, які відповідають різним типам залежності $n(x)$

Ці залежності, що графічно представлені на рис. 2, можна описати формулою:

$$n(x) = (1-x)^\beta, \quad (3)$$

де значення коефіцієнту $\beta < 1$ відповідає «оптимістичній» кривій, значення $\beta > 1$ формує «песимістичну» криву.

Форми кривих Лаффера, які відповідають різним типам залежності $n(x)$, наведено на рис. 2. Крива 3 на цьому рисунку відповідає стану макроекономічного зростання, 1 – стану економічного спаду, 2 – проміжний варіант.

У загальному випадку залежність обсягу податкових бюджетних надходжень від величини сукупної податкової ставки (крива Лаффера) описується, за прийнятих припущень, таким рівнянням:

$$F(x) = \lambda x^\alpha (1-x)^\beta \quad (4)$$

де λ, α, β – коефіцієнти, які задають вид кривої. Економічний зміст коефіцієнта α – це коефіцієнт податкової прогресії, який законодавчо закладений в системі оподаткування, коефіцієнт β – це коефіцієнт чутливості економіки до зміни податкової ставки (або коефіцієнт згасання економічної активності).

Оптимальне значення сукупної податкової ставки x^* для отриманої моделі кривої Лаффера залежить виключно від коефіцієнтів α, β :

$$x^* = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}. \quad (5)$$

Критерій оптимальності податкової системи може бути сформульований так: податкова система є оптимальною, якщо сукупна податкова ставка x , якою характеризуються взаємовідносини податкової системи із економічним сере-

довищем, дорівнює податковій ставці x^* максимуму кривої Лаффера. В протилежному випадку ці взаємовідносини характеризуються слабким ($x < x^*$) або надмірним ($x > x^*$) податковим навантаженням на економічне середовище. Отже, слід розробляти комплекс правових, економічних та фінансових заходів, які дозволили б зробити різницю $(x - x^*)$ мінімальною. У зв'язку з цим виникає задача методично правильного визначення параметрів кривої Лаффера та переходу від абстрактного поняття «сукупна податкова ставка» до конкретних податкових ставок на окремі види податків.

Для побудови кривої Лаффера за формулою (4) необхідно розрахувати значення сукупної податкової ставки. Відмітимо, що поняття сукупної податкової ставки є досить складним. Більш доцільним буде поняття «сукупної номінальної податкової ставки», що є середньою арифметичною зваженою величиною (відповідно до питомої ваги бюджетних надходжень) від наявних номінальних податкових ставок, законодавчо закладених у податкову систему [1]:

$$x = \sum_i x_i \frac{F_i}{F} \quad (6)$$

де x_i – номінальна податкова ставка для i -го типу податку, F_i – надходження до бюджету від окремого i -го типу податку, F – загальний обсяг податкових надходжень до бюджету. Відмітимо, що поняття сукупної номінальної податкової ставки відноситься до певного проміжку часу, протягом якого діють встановлені податкові ставки.

Величину x , що визначено вище, можна ввести в якості незалежної змінної в модель кривої Лаффера.

Зміст представлення x у виді (6) полягає в тому, що сукупна номінальна податкова ставка подається через реально існуючі податкові ставки на окремі види податків. В цьому разі, при наявності висновку про необхідність зміни сукупної податкової ставки, зрозуміло як саме слід змінювати конкретні реально існуючі податкові ставки на окремі види податків.

Для визначення параметрів кривої Лаффера розглянемо відношення бюджетних податкових надходжень F до обсягу виробленого валового внутрішнього продукту (або валової доданої вартості) V . Це відношення за своєю суттю є так званим податковим навантаженням, яке пов'язане із сукупною податковою ставкою x такою залежністю:

$$\frac{F}{V} = x^\alpha. \quad (7)$$

Відмітимо, що у випадку $\alpha = 1$ поняття податкового навантаження та сукупної податкової ставки є тотожними.

Зробимо деякі перетворення рівнянь (4), (7):

$$V = \lambda(1 - x)^\beta, \quad (8)$$

$$\frac{F}{V} = x^\alpha. \quad (9)$$

Тепер, після нескладних перетворень отримаємо систему лінійно-логіфімічних рівнянь, які можна використовувати для визначення невідомих параметрів λ, α, β :

$$\ln V = \ln \lambda + \beta \ln(1 - x), \quad (10)$$

$$\ln \frac{F}{V} = \alpha \ln x. \quad (11)$$

Система рівнянь (10)–(11) може розглядатись як робоча система для визначення параметрів α, β . Знайшовши конкретне x , при якому знаходиться дана економічна система, та за допомогою системи рівнянь (10)–(11) визначивши параметри α, β та отримавши оптимальне x^* , можна шляхом порівняння x та x^* зробити висновки про необхідні заходи щодо реформування податкової системи.

У випадку, коли кількість працюючих підприємств при встановленій сукупній податковій ставці x буде визначатися експоненціальним законом згасання економічної активності:

$$n(x) = N \cdot e^{-x\beta}, \quad (12)$$

крива Лаффера набуде виду:

$$F = \lambda x^\alpha e^{-\beta x}. \quad (13)$$

Для такої моделі максимум податкових надходжень у бюджет визначається таким чином:

$$x^* = \frac{\alpha}{\beta}. \quad (14)$$

На основі описаної моделі побудуємо криву Лаффера для економіки України. Джерело інформації – дані Державного комітету статистики України [2]. Обсяги податкових надходжень до зведеного бюджету України у 1998–2006 рр. наведено в табл. 1. Тут, зокрема, наведені обсяги надходжень від податку на прибуток підприємств F_1 (млн. грн), податку з доходів фізичних осіб F_2 (млн. грн), податку на додану вартість

(ПДВ) F_3 (млн. грн) та акцизного збору F_4 (млн. грн).

Таблиця 1

**Динаміка податкових надходжень
до зведеного бюджету України**

Рік	Всього податкові надходження, млн. грн	у тому числі, млн. грн			
		Податок на прибуток	Податок з доходів фізичних осіб	ПДВ	Акцизний збір
1998	21848	5694	3571	7460	1289
1999	25130	6353	4434	8409	1788
2000	31318	7698	6378	9441	2240
2001	36716	8280	8775	10348	2654
2002	45393	9398	10524	13471	4098
2003	54321	13237	13521	12598	5246
2004	63162	16162	13213	16734	6704
2005	98065	23464	17325	33804	7945
2006	125743	26172	22791	50397	8608

У результаті розрахунків моделі (10)–(11) отримано, що $\ln \lambda = 17,17$ ($\lambda = 28651166$), $\alpha = 1,1$, $\beta = 21,3$. Тобто, побудована крива Лаффера такого виду:

$$F(x) = 28651166 x^{1,1} (1-x)^{21,3} \quad (15)$$

Розрахункові значення t -статистики для параметрів α і β складають відповідно 3,96 та 40,0. Це більше за табличне значення t -статистики при 1 % рівні значимості. Отже оцінки параметрів α і β при 1 % рівні значимості можемо вважати значимими.

Отримане нами значення $\beta = 21,3$ значно перевищує 1, що може свідчити про те, що у період з 1998 по 2006 рік економіка України була надзвичайно чутливою до зміни номінальної податкової ставки. У порівнянні з періодом 1996-1997 рр. [1] чутливість економіки суттєво збільшилась.

Оптимальна податкова ставка для України, розрахована за формулою (5), склала 4,5 %. Аналізуючи отриману криву Лаффера та порівнюючи середню величину сукупної номінальної податкової ставки, яка встановлена в Україні ($x = 0,2$) з оптимальною податковою ставкою $x^* = 0,045$, можна сказати, що за умови

збереження пропорцій в ставках на окремі податки та нарахування, кожна з податкових ставок у період, що досліджувався, повинна була бути значно меншою [1]. Отримане нами значення оптимальної сукупної номінальної податкової ставки в чотири рази менше за встановлене в Україні у 2006 році. Відмітимо, що у роботі [1] розраховано оптимальну величину сукупної номінальної податкової ставки для України у період з січня 1996 по березень 1997 року, яка склала $x^* = 0,08$, що у три рази менше за величину, встановлену тоді в Україні ($x = 0,24$). Порівнюючи це значення з отриманим нами, можна зробити висновок, що у період з 1998 по 2006 рік ситуація не тільки не змінилась в кращу сторону, але погіршилась.

Висновки

Таким чином, проведено дослідження кривої Лаффера, що побудована для економіки України на основі статистичних даних за період з 1998 по 2006 рр. Порівняння середньої величини сукупної номінальної податкової ставки, яка встановлена в Україні ($x = 0,2$) з розрахованою оптимальною податковою ставкою $x^* = 0,045$, показує, що отримане нами значення оптимальної сукупної номінальної податкової ставки майже в чотири рази менше за встановлене в Україні у 2006 р.

На основі проведеного аналізу можна сказати, що за умови збереження пропорцій в ставках на окремі податки та нарахування, кожна з податкових ставок у період, що досліджувався, повинна була бути меншою. В той же час, як показав аналіз, у період з 1998 по 2006 рр. економіка України стала ще більш чутливою до зміни сукупної номінальної податкової ставки, що свідчить про негативний стан економіки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лондар, С. Л. Моделі прийняття рішень з проблем вдосконалення податкової політики в умовах ринкової трансформації економіки України [Текст]: монографія / С. Л. Лондар; за ред. проф. В. Є. Юринця. – Львів: Львівський нац. ун-т ім. І. Франка, 2001. – 274 с.
2. Статистичний щорічник України за 2006 рік. Державний комітет статистики України [Текст]. – К.: Консультант, 2007.
3. Чугунов, І. Я. Фінансово-економічне прогнозування і планування [Текст] / І. Я. Чугунов, Т. Г. Затонацька, А. В. Ставицький. – К.: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2007. – 312 с.

Надійшла до редколегії 28.08.2008.

АНАЛИЗ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ ИНТЕРВАЛЬНЫХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

У статті розроблений метод і виконаний багатокритерійний аналіз потоків в мережевих моделях в умовах нечітких (інтервальних) початкових даних.

В статье разработан метод и выполнен многокритериальный анализ потоков в сетевых моделях в условиях нечетких (интервальных) исходных данных.

In the article a method is developed and the multicriterion analysis of streams is executed in network models in the conditions of unclear (interval) basic data.

Введение

Задача нахождения максимального потока в сети является одной из фундаментальных в теории графов и комбинаторной оптимизации. Она изучается на протяжении многих лет, что обусловлено широким спектром ее использования во многих практических приложениях [1], связанных с анализом транспортных систем, систем материальных потоков, вычислительных и коммуникационных сетей, энергетических и электрических систем и т.д.

Большинство из существующих методов решения задачи о максимальном потоке в сети не позволяют учитывать неопределенности, связанные с разбросом значений, неточным определением данных, учетом ошибок измерений и др. В связи с этим возникает потребность в разработке методов, учитывающих перечисленные виды неопределенностей.

Материал и результаты исследования

В статье были рассмотрены ряд подходов, предлагающих решение задачи о максимальном потоке при нечетких исходных данных:

1) Пропускные способности дуг являются нечеткими множествами. Пусть $C_{ij} = \{c_{ij}\}$ – множества пропускных способностей на дугах (i, j) сети. Тогда нечеткие множества A_{ij} в C_{ij} есть совокупность упорядоченных пар $A_{ij} = \{c_{ij}, mA_{ij}(c_{ij})\}$, где $mA_{ij}(c_{ij})$ – функция принадлежности c_{ij} к A_{ij} . Здесь обязателен тот факт, что мощности множеств пропускных способностей дуг должны быть одинаковы. И задача состоит в нахождении множества максимальных потоков.

2) Пропускные способности дуг – нечеткие интервалы. В общем случае нечетко-

интервальную математику можно свести к разложению нечетких интервалов на составляющие α -уровни и к дальнейшему оперированию с ними в рамках интервальной математики. На рис. 1 показано, что α -уровни являются, в сущности, четкими интервалами, соответствующими определенным заданным значениям функции принадлежности.

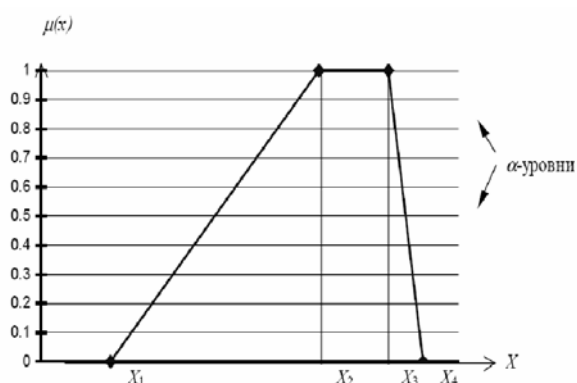


Рис. 1. Разложение нечетких интервалов на составляющие α -уровни

Тогда для этого вида неопределенности все дуги сети могут представляться различными нечеткими интервалами. И задача состоит в нахождении с определенной точностью максимального потока в сети в виде нечеткого интервала. Точность зависит от количества α -уровней.

В связи с этим в статье исследуется четкая потоковая сеть с весами, заданными в виде интервальных неопределенностей. В потоковой сети каждому ребру сопоставлена пропускная способность $\tilde{C}(i, j)$, представленная в виде интервала $\left[\underline{c}(i, j); \bar{c}(i, j) \right]$, где $\underline{c}(i, j)$ – нижнее значение пропускной способности дуги (i, j) ,

$\bar{c}(i, j)$ – соответствующее верхнее значение. Свойства носителей потока представляются интервалами, в этом случае поток в сети, определенный на дугах, также будет представлен интервальной величиной $\tilde{f}(i, j)$. Тогда условие сохранения потока и ограничения на пропускные способности дуг имеют вид:

$$\sum_j \tilde{f}(i, j) = \sum_j \tilde{f}(j, i), \quad \forall i \neq S, T, \quad (1)$$

$$0 \leq \tilde{f}(i, j) \leq \bar{C}(i, j), \quad \forall (i, j) \in E. \quad (2)$$

Здесь S является источником, а T – стоком, E – множество ребер графа сети.

Исследуемая в задаче интервальная величина потока в сети, обозначенная через \tilde{F} , определяется выражением:

$$\tilde{F} = \sum_j \tilde{f}(S, j). \quad (3)$$

В работе рассматривается и новая задача – выбора компромиссных вариантов на множествах траекторий носителей потока с индивидуальными свойствами «право собственности». В задаче есть n собственников, которым принадлежат заданные количества единиц потока: m_1, m_2, \dots, m_n . Рассчитывается интервальная максиминная оценка эффективности потока с собственными свойствами носителей в следующем виде [2] (принцип гарантированного результата):

$$\tilde{F}(s) = \max_s \min_{i \in [1, n]} \frac{\tilde{f}_i(s) - \tilde{f}_i^-}{\tilde{f}_i^+ - \tilde{f}_i^-}, \quad (4)$$

где s – распределение единиц потока в сети (мощность множества s равна максимальному потоку), $\tilde{f}_i(s)$ – интервальный доход i -го перевозчика при s -том распределении, \tilde{f}_i^+ , \tilde{f}_i^- – наибольший и наименьший интервальный доход i -го перевозчика.

Так как в функции $\tilde{F}(s)$ используется максимум и минимум, то возникает проблема сравнения интервалов. В работе предложен метод сравнения четких интервалов на основе теоретико-вероятностного подхода к распределению случайных величин [3], позволяющий определить вероятность, с которой один интервал больше другого, а также вероятность их равенства. Если сравниваемые интервалы не имеют общих областей, то проблемы их сравнения не вызывают трудностей. В случае пересечения интервалов образуются подинтервалы, играющие важную роль в расчете вероятност-

ных характеристик. Все случаи пересечения интервалов представлены в табл. 1.

Представленная методика разработана для случая сравнения двух интервалов. Ее результаты применимы и для выбора максимального /минимального/ интервала из группы анализируемых интервалов (ранжирование группы интервалов). Для этого можно использовать модификацию классического алгоритма сортировки, заменяя в нем операторы сравнения действительных чисел описанными выше операторами сравнения интервалов.

Решение проблем моделирования и оптимизации всегда связано с наличием неопределенностей различного вида. При этом задачи оптимизации являются, как правило, многокритериальными. Так, наряду с требованиями увеличения каких-либо благ (дохода), или снижения затрат, всегда существует критерий, характеризующий желание снижения неопределенности или, что то же самое, риска неполучения желаемого результата. Поэтому целесообразно формулировать нашу задачу оптимизации как двухкритериальную, на основе частных критериев увеличения благ (дохода) и минимизации риска, понимаемого как неопределенность результата. Степень неопределенности определялась через ширину итогового интервала целевой функции в точке оптимума.

Для решения проблемы используем метод двухкритериального сравнения интервалов с учетом вероятности доминирования одного интервала над другим и размеров интервалов. Построены двухкритериальные оценки сравниваемых интервалов с учетом коэффициентов относительной важности частных критериев. Рассмотрим два интервала A и B .

Первый критерий сравнения интервалов, назовем его критерием вероятности, был рассмотрен ранее.

Второй критерий сравнения интервалов, назовем его критерием ширины, связанный с оценкой риска, представим через параметры, характеризующие относительные размеры сравниваемых интервалов:

$$\mu_W(x_A) = 1 - x_A, \quad \text{где } x_A = \frac{W_A}{\max(W_A, W_B)}; \quad (5)$$

$$\mu_W(x_B) = 1 - x_B, \quad \text{где } x_B = \frac{W_B}{\max(W_A, W_B)}, \quad (6)$$

где W_A , W_B – ширина интервалов A и B , соответственно.

Графическое представление функций желательности (5), (6) приведено на рис. 2. Далее проведем агрегирование частных критериев в глобальный критерий, обобщенно характеризующий наше стремление к уменьшению ин-

тервалов в вероятностном смысле и их ширины. При этом будем использовать коэффициенты относительной важности (ранги), отражающие субъективные или объективные оценки степени значимости каждого из использованных частных критериев для достижения поставленной цели (в данном случае для решения задачи оптимизации при использовании интервальной целевой функции).

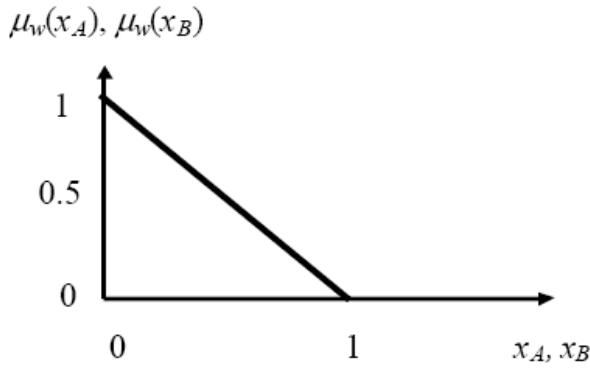


Рис. 2. Функция желательности относительной ширины интервалов

Поскольку в общем случае могут иметь место все три интервальные события $A < B$, $A = B$ и $A > B$, сформулируем следующие интегральные критерии для оценки величины интервалов:

$$D_{A<B}(A, B) = \frac{1}{2} \cdot (r_p P(A < B) + r_w \mu_w(x_A)); \quad (7)$$

$$D_{A>B}(A, B) = \frac{1}{2} \cdot (r_p P(A > B) + r_w \mu_w(x_B)); \quad (8)$$

$$D_{A=B}(A, B) = \max(D'_{A=B}(A, B), D''_{A=B}(A, B)), \quad (9)$$

где

$$D'_{A=B}(A, B) = \frac{1}{2} \cdot (r_p P(A = B) + r_w \mu_w(x_A)); \quad (10)$$

$$D''_{A=B}(A, B) = \frac{1}{2} \cdot (r_p P(A = B) + r_w \mu_w(x_B)). \quad (11)$$

В (7)–(11) r_p , r_w – ранги (коэффициенты относительной значимости) критериев вероятности и ширины, соответственно.

При наличии только двух частных критериев задача определения их рангов r_p , r_w не вызывает трудностей. Однако при этом должно быть выполнено обычное ограничение:

$$(r_p + r_w) / 2 = 1. \quad (12)$$

При соблюдении данного условия для любого случая двухкритериального сравнения интервалов будет выполняться неравенство:

$$0 \leq D_{A<B}, D_{B<A}, D_{A=B} \leq 1. \quad (13)$$

Применение такого метода сравнения интервалов с учетом вероятности превосходства одного интервала над другим и относительной ширины в процессе оптимизации для сравнения текущего значения целевой функции с оптимальным, найденным на предыдущих шагах, позволяет достичь снижения неопределенности результата.

Продemonстрируем эффективность разработанной методики на вышеизложенной задаче оптимизации (4). Рассмотрена сеть на рис. 3, на дугах указаны два числа, первое из них указывает на величину потока, а второе – на пропускную способность дуги. У этой сети, как мы видим, максимальный поток равен 7. Пусть также, для этой же сети, заданы на дугах стоимости за перевозку в виде интервальных неопределенностей (рис. 4).

Далее, пусть есть три собственника, которым принадлежит следующее количество единиц потока: $m_1 = 5$, $m_2 = 1$, $m_3 = 1$. Был построен график (рис. 5) изменения ширины интервала максиминной оценки эффективности потока (4) при изменении ранга r_w от 0 до 2, а ранг r_p при этом изменялся от 2 до 0, так как должно выполняться ограничение (12).

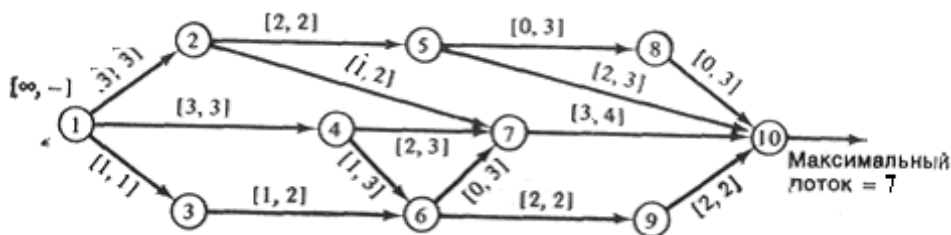
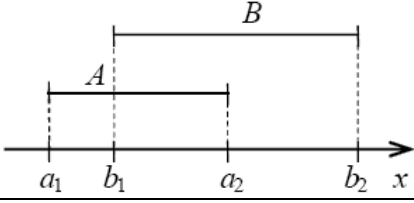
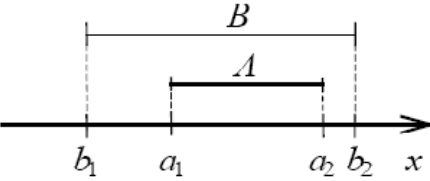
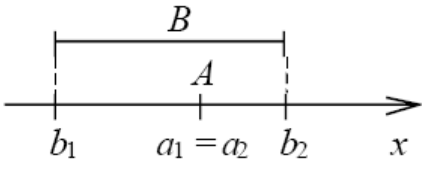
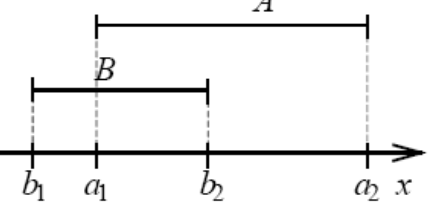
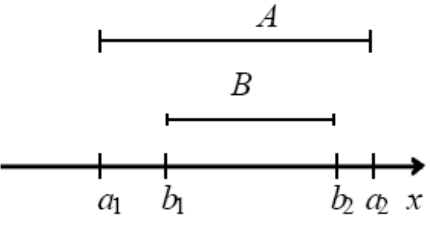
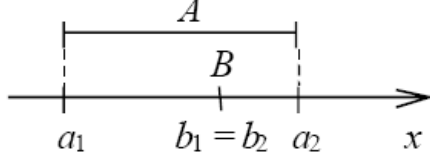


Рис. 3. Сеть с найденным максимальным потоком

Таблица 1

**Вероятностные оценки отношений между интервалами,
между интервалами и действительными числами**

Случай	$P(A < B)$	$P(A = B)$	$P(A > B)$
<p>1.</p> 	$1 - \frac{(a_2 - b_1)^2}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)}$	$\frac{(a_2 - b_1)^2}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)}$	0
<p>2.</p> 	$\frac{b_2 - a_2}{b_2 - b_1}$	$\frac{a_2 - a_1}{b_2 - b_1}$	$\frac{a_1 - b_1}{b_2 - b_1}$
<p>3. $a_1 = a_2 = a$</p> 	$\frac{b_2 - a}{b_2 - b_1}$	0	$\frac{a - b_1}{b_2 - b_1}$
<p>4.</p> 	$1 - \frac{(b_2 - a_1)^2}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)}$	$\frac{(b_2 - a_1)^2}{(a_2 - a_1)(b_2 - b_1)}$	0
<p>5.</p> 	$\frac{a_2 - b_2}{a_2 - a_1}$	$\frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1}$	$\frac{b_1 - a_1}{a_2 - a_1}$
<p>6. $b_1 = b_2 = b$</p> 	$\frac{a_2 - b}{a_2 - a_1}$	0	$\frac{b - a_1}{a_2 - a_1}$

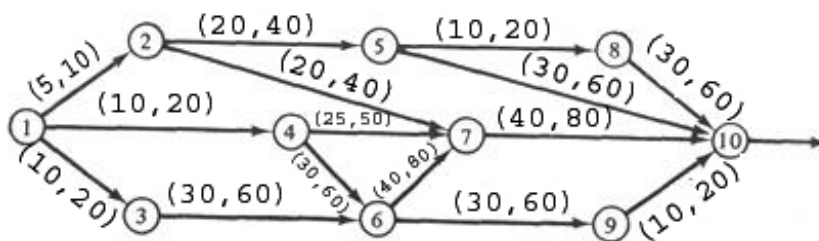


Рис. 4. Сеть с интервальными стоимостями за перевозку на дугах

Из представленного на рис. 5 следует, что при увеличении ранга ширины происходит сдвиг оптимума в сторону с интервалами меньшей ширины. Однако уменьшение ширины оптимального интервала достигается за счет

некоторого ухудшения (увеличения) среднего значения интервала. При этом при приближении ранга ширины к значению 2 происходит резкое увеличение среднеинтервального значения целевой функции.

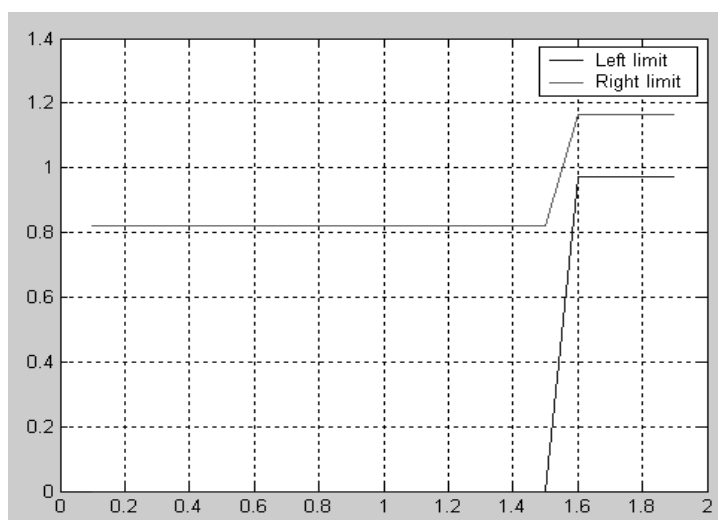


Рис. 5. Зависимость значения интервальной целевой функции $\tilde{F}(s)$ от ранга ширины r_w

Таким образом, в процессе варьирования рангами частных критериев вероятности и ширины интервала можно достигнуть требуемого компромисса между шириной выходного интервала и его средним значением, что вполне согласуется с нашими интуитивными представлениями.

Выводы

Разработаны многокритериальные модели анализа потоковых задач с нечеткими (интервальными) исходными данными. Исследованы возможности применения различных видов операций над интервальными данными. Получены компромиссные двухкритериальные множества решений потоковых задач для показате-

лей – вероятность доминирования ширины интервала, размер интервала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филлипс, Д. И. Методы анализа сетей [Текст] / Д. И. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
2. Гермеер, Ю. Б.. Введение в теорию исследования операций [Текст] / Ю. Б. Гермеер. – М.: Наука, 1976. – 352 с.
3. Дилигенский, Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология [Текст] / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, П. В. Севастьянов. – М.: Изд-во «Машиностроение - 1», 2004. – 397 с.

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

В. В. СКАЛОЗУБ, С. Ю. РАЗУМОВ (ДИИТ), В. Вл. СКАЛОЗУБ (Днепропетровский государственный аграрный университет)

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МНОГОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Визначено джерело неузгодженості даних матриць парних порівнянь, які використовують у методі аналізу ієрархій. Розроблено удосконалену процедуру обробки даних, яка забезпечує більш узгоджені результати парних порівнянь і точність рішень багатокритеріальних задач.

Установлен источник несогласованности данных матриц парных сравнений, используемых в методе анализа иерархий. Разработана усовершенствованная процедура обработки данных, которая обеспечивает большее согласование парных сравнений и точность решений многокритериальных задач.

The source of inconsistency of data of matrices of pair comparisons, which are utilized in the Analytic Hierarchy Process, is determined. The improved procedure of data processing is developed, which provides more consistent results of pair comparisons and accuracy of solutions of multicriteria problems.

Введение

При создании автоматизированных систем управления сложными процессами или объектами возникают проблемы учета их многокритериальности, иерархичности, неопределенности условий функционирования, состояний и других. Многоуровневая структура моделей систем обусловлена самим объектом или связана с его декомпозицией и возможностью упрощенного представления и анализа. В настоящее время нечеткое моделирование и многокритериальное оптимальное управление в условиях неопределенности имеет приоритет в областях экономики, технологий, экологии. Одним из эффективных и наиболее часто используемых в задачах анализа многокритериальных иерархических систем является метод анализа иерархий (МАИ, Т. Саати [1–3]), который в США фактически является стандартом [4, 9]. В статье представлено развитие методов многокритериального иерархического и нечеткого управления в условиях неопределенности – выполнен анализ ограничений МАИ как метода управления при неопределенностях и предложены процедуры по его совершенствованию.

Анализ процедуры МАИ, состоящей в декомпозиции проблемы в иерархическую модель, получении экспертных оценок и обработке матриц парных сравнений, установлении относительных степеней взаимодействия элементов иерархии, рангов, в расчете индекса и отношения согласованности рангов, применительно к условиям неопределенности (и использовании лингвистической шкалы из девяти

градаций оценок относительной важности: 7 ± 2) позволил установить ряд ее существенных ограничений. В статье устанавливается, что главными из ограничений МАИ являются – *невозможность* получения согласованных экспертных оценок в шкале 7 ± 2 [7]. Другие неявные допущения МАИ о независимости предпочтений и *однородности вариантов*, а также дискретности или выпуклости набора альтернатив, отмечены в [10], где был предложен восходящий метод анализа иерархической модели проблемы, включающий усовершенствованную процедуру получения матриц относительных лингвистических оценок, который расширяет возможности МАИ.

В работах [1, 2] Т. Саати был предложен один из подходов к назначению «весов» конечному набору n сравниваемых объектов на основе матрицы парных сравнений, который впоследствии оформился в целый раздел принятия решений при наличии одного, а также нескольких критериев и получил наименование метода анализа иерархий (the Analytic Hierarchy Process, АНР) – сокращенно МАИ. В настоящее время МАИ прочно вошел в теорию и практику многокритериального выбора. Число статей прикладного характера, в которых МАИ применяется к решению самых различных прикладных многокритериальных задач, превысило тысячу уже более десяти лет назад. На основе МАИ был разработан получивший мировое признание и широкое распространение за рубежом пакет программ EXPERT CHOICE.

В соответствии с МАИ, для установления относительной важности рассматриваемых объектов экспертами формируется матрица

парных сравнений A , а искомым весовой вектор $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ вычисляется как ее собственный.

Известно, что весовой вектор w является собственным вектором совместной матрицы A , отвечающим ее максимальному собственному значению n , и в случае совместной матрицы весовой вектор необходимо является указанным собственным вектором. При формировании в соответствии с МАИ экспертами матрицы парных сравнений рассчитывать на ее совместность не следует. И на практике имеют дело с иной моделью экспертного анализа объектов, которой отвечает несовместная матрица. Все же, согласно МАИ, весовой вектор вновь находят как собственный вектор (несовместной) матрицы парных сравнений. Хотя этот собственный вектор отвечает собственному значению, которое, уже не равно (а строго больше) n . Поэтому рассматриваемый метод нельзя назвать обоснованным; «он представляет собой определенный эвристический подход, логика которого заключается в рекомендации действовать точно так же в ситуациях, которые могут сильно отличаться от тех, для которых установлена справедливость данных действий» [9]. Поскольку применение МАИ практически всегда содержит некоторую «модельную» ошибку вычисления весового вектора важности сравниваемых объектов, автор МАИ ввел специальный числовой показатель «индекс совместности» (ИС, consistency index), характеризующий степень доверия к полученным результатам, трактуемый как мера отклонения исходной матрицы от некоторой совместной. Согласно Т. Саати [1, 2], при достаточно малом значении индекса совместности матрица парных сравнений «близка» к некоторой матрице с нулевым значением этого индекса, т.е. к совместной. Если индекс совместности превышает «пороговое» значение, то применять МАИ не рекомендуется. Но значения ИС позволяют лишь опосредованно судить о величине итоговой «модельной» ошибки; точно же она не может быть определена [9].

Не раз МАИ подвергался критике за невыполнение свойства сохранения ранжирования решений при удалении одного из них из числа возможных [4]. В работе [9] пересматриваются две иные важнейшие составляющие МАИ.

Во-первых, предлагается существенно упростить процедуру формирования матрицы парных сравнений, требуя от эксперта сведения не обо всех элементах этой матрицы, расположенных выше (либо ниже) главной диагонали,

а лишь об определенных «базисных» элементах. На основе этих частичных данных легко и уже без ошибок находится искомым весовой вектор. Предлагаемый вариант МАИ существенно проще исходного метода и на стадии формирования матрицы A , и в ходе вычисления весового вектора, а также избавлен от указанной «модельной» ошибки.

Во-вторых, вместо линейной предлагается использовать для решения многокритериальных задач нелинейную свертку критериев в виде функции минимума.

Метод анализа иерархий – процедура и основные проблемы его использования

Согласно МАИ, экспертным путем формируется матрица относительных весов со следующими свойствами. Пусть задан набор из n объектов (элементов), которые обозначим A_1, A_2, \dots, A_n . Считается, что каждому A_k поставлено в соответствие определенное положительное число w_k , именуемое весом объекта, $k = 1, 2, \dots, n$. Образуют матрицу относительных весов a_{ij} i -го объекта A_i к весу j -го объекта A_j . Здесь для каждого элемента матрицы парных сравнений справедливо $a_{ji} = w_i / w_j$. По содержательному смыслу ранги w_i – это значения вкладов соответствующих частных критериев, коэффициенты предпочтительности объектов.

Для элементов матрицы A справедливо следующее свойства относительных весов.

- 1) Все элементы матрицы A положительны

$$a_{ij} = w_i / w_j > 0.$$

- 2) Матрица A обратна симметрична, ее элементы, расположенные симметрично относительно главной диагонали, являются обратными по отношению друг к другу

$$a_{ij} = w_i / w_j = 1 / a_{ji}.$$

- 3) Матрица A обладает свойством совместности

$$a_{ik} * a_{kj} = (w_i / w_k) * (w_k / w_j) = w_i / w_j = a_{ij}.$$

- 4) Число n является максимальным собственным значением матрицы A , а вектор-столбец единственным (если он нормирован) соответствующим (правым) собственным вектором.

Матрица A относительных весов имеет два различных собственных значения – 0 и n (см. [3], [9]). Обозначая $\lambda_{\max} = \max \{0, n\}$, получают уравнения для вычисления искомым весов w_k в форме

$$Aw = \lambda_{\max} w. \quad (1)$$

На практике веса объектов A_1, A_2, \dots, A_n , т.е. числа w_1, w_2, \dots, w_n , заранее не заданы, а подлежат определению (нередко удовлетворяют дополнительному условию нормировки $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$).

Метод анализа иерархий предполагает наличие матрицы парных сравнений, произвольный элемент которой призван выражать собой положительное число, показывающее, во сколько раз вес объекта A_i больше веса объекта A_j . В МАИ на основе экспертных оценок в результате выполнения попарных сравнений объектов формируется часть матрицы, которая расположена выше (или ниже) главной диагонали, на главной диагонали выставляются единицы, а элементы, расположенные ниже главной диагонали, вычисляются с использованием свойства обратной симметричности. Полученная таким способом матрица парных сравнений, как правило, не обладает свойством совместности, и равенство $a_{ij} = a_{jk} * a_{kj}$ нарушается для некоторых $i, j, k \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq j$.

Затем находят максимальное собственное значение λ_{\max} матрицы парных сравнений A (которое удовлетворяет неравенству $\lambda_{\max} \geq n$) и решают однородную систему линейных уравнений относительно вектора w , равносильную (1). Найденный из нее вектор w имеет положительные компоненты и является искомым весовым вектором. При реализации МАИ чаще всего оказывается выполненным строгое неравенство $\lambda > n$ и компоненты w_1, w_2, \dots, w_n вектора весов «не согласуются» с данными, содержащимися в матрице парных сравнений в том смысле, что равенство чаще всего нарушается. Это свидетельствует об определенной «модельной» ошибке при реализации МАИ. От указанного недостатка свободен упрощенный вариант МАИ [9], результаты которого будут использованы нами в работе ниже.

Как отмечено, информативным показателем достоверности определения весов является ИС матрицы парных сравнений A , который характеризует степень нарушения численной (кардинальной $a_{ij} = w_i/w_j$) и транзитивной (порядковой) согласованности парных сравнений. ИС матрицы рассчитывается на основе оценки максимальной величины собственного значения матрицы, λ_{\max} . Приближенно ИС получают следующим образом: суммируют каждый столбец матрицы парных сравнений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора весов

(рангов), сумма второго столбца – на вторую компоненту и т.д. Далее полученные числа суммируются и находится значение λ_{\max} . Индекс согласованности рассчитывается по формуле ИС = $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$, где n – размерности матрицы парных сравнений. Для обратно симметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} \geq n$. Чем более согласованы парные сравнения, тем меньше ИС. На основе индекса согласованности рассчитывается показатель отношения согласованности ОС: ОС = ИС/СС, где СС – значение согласованности случайной матрицы того же порядка n . Средние значения согласованности СС для случайных матриц разного порядка, полученные при случайном выборе количественных парных оценок относительной важности из шкалы 1/9, 1/8, 1/7, ..., 1, 2, ..., 9 и образовании обратно симметричной матрицы, приведены в следующей таблице [1, 4]:

n	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

На основе опыта решения многокритериальных задач принимают, что для согласованности матрицы A величина ОС должна быть менее, чем 10 %; в ряде случаев приемлемой для практики можно считать величину ОС до 20 %. При выходе ОС из этих пределов экспертам нужно пересмотреть задачу и свои суждения. Часто в матрицах больших размеров, начиная с 7...9 элементов, трудно достигнуть высокого уровня согласованности.

Ошибки в величинах весов, рангов, объектов связывают и с вычислительными процедурами. В [4, 6] предлагается получать оценки рангов не с помощью приближенной процедуры Т. Саати, а при использовании методики оптимизации. При этом анализ результатов расчетов показывает, что оценки рангов, критерии показателей согласованности ИС и ОС, полученные с использованием сравниваемых методов могут различаться более, чем в два раза. Во всех случаях согласованность оценок при использовании методики оптимизации существенно выше, чем при использовании приближенного метода Т. Саати (значения ИС и ОС приведены ниже).

Как следует из представленного анализа, одна из основных проблем МАИ связывается со сложностью получения согласованной экспертной информации для матриц попарных сравнений больших размерностей. В частности, в разработанном в работе [9] упрощенном варианте МАИ предлагается использовать лишь ту часть экспертной информации, которая дос-

таточно для формирования согласованной матрицы A . Все же, мы считаем, что потеря части экспертных данных не является вполне оправданной, даже для обеспечения требуемых методом свойств.

Цель дальнейшего изложения состоит в выявлении истинных причин несогласованности матриц парных сравнений МАИ, которые как будет показано, кроются в другом круге задач, возникающих при представлении экспертной информации.

Проблема ранжирования частных критериев (объектов) в условиях неопределенности

Как известно [5, 7, 8], задача непосредственного определения рангов частных критериев в случае их большого числа оказывается весьма трудной и даже неразрешимой для экспертов. В определенной степени это связано с ограниченностью психо-физических возможностей человека [7]. На практике экспертные суждения при попарных сравнениях частных критериев проводят на основе шкалы лингвистических оценок. В соответствии с широко распространенным подходом, который фактически стал стандартом [4, 5], лингвистическая шкала для сравнения предпочтений вариантов состоит из девяти градации оценок относительной важности, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Лингвистические оценки относительной важности	
Качественная оценка	Количественная оценка w_{ij}
Строго эквивалентны	1
Слабо предпочтительнее	3
Несколько предпочтит.	5
Значительно предпочтит.	7
Строго предпочтительнее	9
Промежуточные значения важности	2, 4, 6, 8
Оценка сравнения элемента j с элементом i (w_{ji}) имеет значение w_{ij}	$a_{ji} = 1/a_{ij}$

Указанная шкала отражает особенности человека как субъекта принятия решений и обработки информации, который плохо воспринимает излишне детализированные шкалы значений признаков. Часто используют только пять основных нечетных оценок шкалы, что оказы-

вается достаточным при сравнении двух альтернатив или критериев на основе табл. 1 всем лингвистическим суждениям экспертов присваиваются соответствующие численные оценки от 1 до 9.

Выбор девяти лингвистических градаций значимости не случаен. Так, в естественных языках большинства народов используются также не более девяти вербальных оценок относительной значимости (предпочтительности). Формулировки оценок могут быть иными, но число их постоянно, что соответствует результатам психофизиологических исследований особенности мышления человека [5, 7]. *Словесным оценкам парной важности поставлены в соответствие числа натурального ряда*, что необходимо для получения количественных результатов.

Далее утверждается, что именно такая замена является причиной несогласованности матрицы парных сравнений. Более того, в рамках лингвистических оценок относительной важности *невозможно* получить согласованные матрицы! Кроме тривиальных случаев, например, равнозначности всех критериев, а также нескольких других, указанных ниже.

Исследование методики ранжирования критериев в условиях неопределенности

Покажем, что с использованием табл. 1 нельзя получить согласованные оценки, требуемые для МАИ. Используем известный пример – многокритериальный выбор дома [1, 4].

Таблица 2

Матрица парных сравнений для задачи выбора дома

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	5	3	7	6	6	1/3	1/4
2	1/5	1	1/3	5	3	3	1/5	1/7
3	1/3	3	1	6	3	4	6	1/5
4	1/7	1/5	1/6	1	1/3	1/4	1/7	1/8
5	1/6	1/3	1/3	3	1	1/2	1/5	1/6
6	1/6	1/3	1/4	4	2	1	1/5	1/6
7	3	5	1/6	7	5	5	1	1/2
8	4	7	5	8	6	6	2	1

Оценки максимальных собственных чисел матрицы: приближенная – $\lambda_{\max} = 9,863$, точная – $\lambda_{\max} = 9,389$; согласованная оценка – 8.

В табл. 2 и 3 приведены результаты расчетов ИС экспертных оценок задачи по выбору дома, полученные методом Т. Саати и на основе оптимизации, а также значения показателей ИС, ОС:

ИС =	0,2661	0,1985
ОС =	0,1887	0,1408

Таблица 3

Сравнение точности методов оценки рангов

Приближенные оценки (Т. Саати)	Собственные числа матрицы
0,1748	0,137
0,0626	0,054
0,1487	0,121
0,0193	0,03
0,0356	0,046
0,0423	0,046
0,167	0,089
0,3496	0,475

Обоснование ограничений, накладываемых табл. 1, проведем как расчетным, так и теоретическим путем. Сначала решим задачу поиска согласованных оценок весов в такой постановке. Требуется путем полного перебора оценок важности из табл. 1 подобрать коэффициенты относительной важности так, чтобы минимизировать λ_{\max} , исключая тривиальный случай равнозначности всех критериев. Для данных табл. 1

решение этой задачи (значение $\lambda_{\max} = 8$) не существует. Существенно, что значение максимального собственного числа зависит от масштаба – при увеличении количественных оценок табл. 1, например в 10 раз, величина λ_{\max} изменится, возрастет.

Рассмотрим возможность использования для матриц парных сравнений интервальных градаций оценок относительной важности (ГОВ). В табл. 4 указаны диапазоны значений, которые сопоставляются лингвистическим оценкам относительной важности для соответствующих градаций. Интервальное представление упрощает выбор для эксперта. Приближенная оценка λ_{\max} собственного числа матрицы: 12,495. Оценка получена на основе решения новой экстремальной задачи по выбору таких значений из интервалов неопределенности, при которых λ_{\max} минимально. При этом переменные, характеризующие оптимальное значение в диапазоне варьирования интервальных (обозначенных как I_j) оценок $[0; 1]$, принимали значения, приведенные в табл. 6; т.е. их задание не является тривиальным, а требует применения процедуры минимизации. Заметим, что при средних значениях интервалов неопределенности $\lambda_{\max} = 14,65$, и за счет оптимального выбора оценок в интервалах удалось существенно улучшить индекс согласованности ИС. Эта процедура, основанная на интервальных оценках относительной важности, фактически представляет построение транзитивного замыкания экспертных данных [11].

Таблица 4

Интервальные оценки лингвистической шкалы предпочтений – рангов относительной важности сравниваемых показателей

ГОВ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D_{\min}	5	15	25	35	45	55	65	75	85
D_{\max}	15	25	35	45	55	65	75	85	95

Выполнив ту же процедуру для случая, когда значения D_{\min} , D_{\max} в табл. 4 уменьшены в десять раз, получаем приближенную оценку $\lambda_{\max} = 8,822$ (более близкую к теоретически минимальной – 8, чем 12,495). При этом, очевидно, относительные значимости показателей важности не изменились, как и решения, соответствующие табл. 4. Как видно, за счет перехода к диапазонам и процедуре минимизации получили более согласованную матрицу табл. 5, чем табл. 2, имеющую $\lambda_{\max} = 9,389$.

В связи с зависимостью ИС от выбора оценок w_i возникает естественный вопрос: что же измеряет индекс согласованности экспертных оценок МАИ? Более важным является главный вопрос о том, можно ли вообще получить согласованную матрицу относительных важностей, и если нет (что далее установлено теоретически), как надо изменить процедуру МАИ, чтобы обеспечить возможность формирования согласованной матрицы вида табл. 1.

Для теоретического обоснования несостоятельности общепринятых количественных эквивалентов лингвистических оценки относи-

тельной важности воспользуемся результатом [9] – упрощенным МАИ. В нем матрица A , обладающая свойством совместности 3), форми-

руется по данным сравнений первой строки матрицы, используя отношения вида

$$a_{ik} * a_{kj} = (w_i / w_k) * (w_k / w_j) = w_i / w_j = a_{ij}.$$

Таблица 5

Матрица парных сравнений для интервальных оценок лингвистической шкалы, заданной табл. 2

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3	1,6667	4,3333	3,6667	3,6667	0,04	0,0286
2	0,3333	1	0,6	3	1,6667	1,6667	0,3333	0,2308
3	0,6	1,6667	1	3,6667	1,6667	2,3333	3,6667	0,3333
4	0,2308	0,3333	0,2727	1	0,6	0,4286	0,2308	0,1765
5	0,2727	0,6	0,6	1,6667	1	0,6	0,3333	0,2727
6	0,2727	0,6	0,4286	2,3333	1,6667	1	0,3333	0,2727
7	25	3	0,2727	4,3333	3	3	1	0,6
8	35	4,3333	3	5,6667	3,6667	3,6667	1,6667	1

Таблица 6

Результаты оптимального выбора значений весов из областей интервальных оценок, табл. 4

1	1	0	0	0	0	0	1
И1	И2	И3	И4	И5	И6	И7	И8

Ясно, что в силу операций деления получить матрицу, подобную табл. 2, содержащую оценки относительной важности из табл. 1, можно лишь при равнозначности всех объектов сравнения, ни при каких других случаях относительной важности для пяти основных нечетных лингвистических оценках шкалы сравнений, при значениях только 2 или только 3 – для вариантов шкалы из девяти градации оценок относительной важности. Любой другой вариант экспертных сравнений по свойству совместности, представленному с помощью отношений, приведет к оценкам, отличным от данных табл. 1. Сформулируем это утверждение наоборот: никакие варианты экспертных предпочтений, полученные на основе табл. 1, кроме частных и оговоренных выше, не позволяют получить согласованные матрицы, используемые при вычислительных процедурах МАИ.

Выводы

Широкое использование МАИ при решении многокритериальных и многоуровневых задач выбора, принятия решений, управления в условиях неопределенности ставит задачу прочного

обоснования теоретических основ известного метода. В представленной работе *впервые* показано, что источником несогласованности матриц парных сравнений МАИ является некорректность перехода от лингвистических оценок относительной важности к их количественным эквивалентам. К недостаткам метода, по-видимому, следует отнести и саму процедуру получения парных сравнений, в рамках которой невозможно получить относительные важности типа 2/7, 4/5 и т.п.

В определенной степени улучшить согласованность экспертных оценок и ИС можно путем использования постановок экстремальных задач по обработке данных парных сравнений, выраженных интервалами, что показано в работе.

Поиск и обоснование эффективной процедуры представления экспертной информации, полученной в условиях неопределенности, представленных лингвистической шкалой или же ее аналогом, и обеспечивающей согласованность матриц МАИ, является актуальной задачей и требует отдельного исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
2. Saaty, T. Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures [Текст] / T. Saaty // J. of Mathematical Psychology. – 1977. – Vol. 15, № 3. – P. 234-281.
3. Saaty, T. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process [Текст] / T. Saaty, L. Thomas. – Pittsburgh: RWS Publications, 1992. – 387 p.
4. Дилигенский, Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология [Текст] / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, П. В. Севастьянов. – М.: Машиностроение, 2004. – 397 с.
5. Sasaki, T. Traffic control process of expressway by fuzzy logic [Текст] / T. Sasaki, T. Akiyama // Fuzzy Sets and Systems. – 1988. – Vol. 26. – P. 165-178.
6. Chu, A. A Comparison of Two Methods for Determining the Weights of Belonging to Fuzzy Sets [Текст] / A. Chu, R. Kalaba, R. Springarn // J. of Optimization Theory and Applications. – 1979. – Vol. 27, № 4. – P. 531-538.
7. Миллер, Д. А. Магическое число семь плюс минус два: некоторые ограничения в нашей способности обрабатывать информацию [Текст] / Д. А. Миллер // Инженерная психология. – М.: Прогресс. 1964. – С. 192-255.
8. Zollo, G. The performance requirements analysis with fuzzy logic [Текст] / G. Zollo, L. Iandoli, A. Cannavacciuolo // Fuzzy economic review. – 1999. – Vol. IV, № 1. – P. 35-69.
9. Ногин, В. Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев [Электрон. ресурс] / В. Д. Ногин. – СПб.: ПМ-ПУ, СПбГУ. – e-mail: noghin@mail.infos.ru.
10. Скалозуб, В. В. Процедура многоуровневой оптимизации при зависимых по предпочтению критериях [Текст] / В. В. Скалозуб, С. Ю. Цейтлин // Матем. моделювання в інженерн. і фінанс.-економічн. задачах: зб. наук. пр. ДІІТу. – Д.: Січ, 1998. – С. 153-161.
11. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 356 с.

Поступила в редколлегию 16.07.2008.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ВОЗВРАТА ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ СУТОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

У статті досліджено стійкість оптимальних планів повернення порожніх вагонів. Для стохастичної моделі планування методом статистичних досліджень отримано оцінку чутливостей планів до змін даних.

В статье исследована устойчивость оптимальных планов возврата порожних вагонов. Для стохастической модели планирования методом статистических испытаний получены оценки чувствительности планов к изменениям исходных данных.

The problem of stability of optimum plans of empty cars return is investigated in the article. For stochastic planning model, using the statistic test method the values of plans sensitiveness to changes of input data are obtained.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное управление грузовыми железнодорожными перевозками основано на их планировании и техническом нормировании. Главной задачей технического нормирования является предупреждение затруднений в ходе выполнения плана перевозок [1]. В зависимости от объемов предстоящих перевозок для каждого железнодорожного подразделения технические нормы регламентируют его работу в количественных и качественных показателях при обеспечении установленного уровня использования технических средств и др. Технические нормы (ТН) рассчитываются ежемесячно. Их расчеты ведутся на основе плана перевозок, плана формирования и графика движения поездов, а также технологических процессов работы объектов железнодорожного транспорта. ТН выражается системой показателей: суточных количественных показателей, качественных показателей, показателей обеспечения плана перевозок, расчетных показателей.

Одним из основных нормируемых показателей является план передачи порожних вагонов по регулировочному заданию. Обеспечение грузовых перевозок порожними вагонами – важная задача организации эффективного перевозочного процесса. Ее решение выполняется на основе оптимизационных моделей и методов планирования в условиях [2, 3] значительной неопределенности, связанной с суточной неравномерностью грузовых перевозок. На практике расчет месячного регулировочного задания, его планирование ведется для каждого рода вагонов отдельно в предположении постоянных суточных заданий на перевозку. Это

условие для различных железнодорожных полигонов, как правило, не выполняется.

Исследование устойчивости плана регулирования порожних вагонов в условиях суточной неравномерности заданий, а также его эффективности является актуальной задачей, которая решается в настоящей работе.

ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗВРАТА ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ

Кратко остановимся на действующей технологии планирования возврата порожних вагонов. В конце каждого месяца управления дорог на основе развернутых планов перевозок и специальных указаний Укрзализныци (УЗ) разрабатывают вагонопотоки на предстоящий месяц, отдельно по каждому роду подвижного состава. Планы дорог служат для разработки сводного плана перевозок УЗ – «шахматки». На основе этих данных составляется междорожная ведомость вагонопотоков, а также устанавливают корреспонденции грузевых вагонопотоков между пунктами дорог. Ведомости корреспонденции вагонопотоков составляются один раз на месяц и корректируются, если общее отклонение объемов перевозок от плана составляет более 5...7 % [1].

Для анализа влияния суточной неравномерности на свойства оптимального плана регулирования порожних вагонов (количество передаваемых вагонов) рассмотрим реальную схему междоударственных грузовых перевозок, рис. 1. Здесь представлена схема задачи оптимального регулирования порожняка на полигоне, состоящем из 5 государств и 6 междоударственных пунктов, когда происходит передача вагонопотоков в размере 2520 единиц («кры-

тые» вагоны). Для оптимального расчета суточных показателей учитывается количество передаваемых вагонов, ведомость маршрутов межгосударственной корреспонденции, а также стоимостные показатели, выраженные в километрах или денежных единицах.

Размеры вагонопотоков, объемы погрузки и выгрузки в каждые сутки могут существенно отклоняться от среднесуточных значений, положенных в основу технического нормирования, рис. 2. Данные рис. 2 иллюстрируют реализованные перевозки на полигоне Приднепровской железной дороги за август месяц 2007 года. Такие отклонения возникают вследствие объективно существующей на железнодорожном транспорте неравномерности перевозочно-

го процесса, из-за сверхплановых заданий и др. Здесь математическое ожидание числа вагонов составляет 79.53, дисперсия 632.05, среднее квадратическое отклонение – 25.14, коэффициент вариации – 0.32. Таким образом, на практике реализовать равномерный план перевозки, а значит и возврата порожних вагонов, не удастся. Оценим перевозки рис. 2 с точки зрения выполнения общего задания на перевозку, начиная с начала месяца, рис. 3. На рис. 3 изображен график отношения выполненного объема перевозки к планируемому при равномерных отправлениях. Как видно, показатель выполненного объема перевозок приближается к значению 1 – выполненного месячного плана.

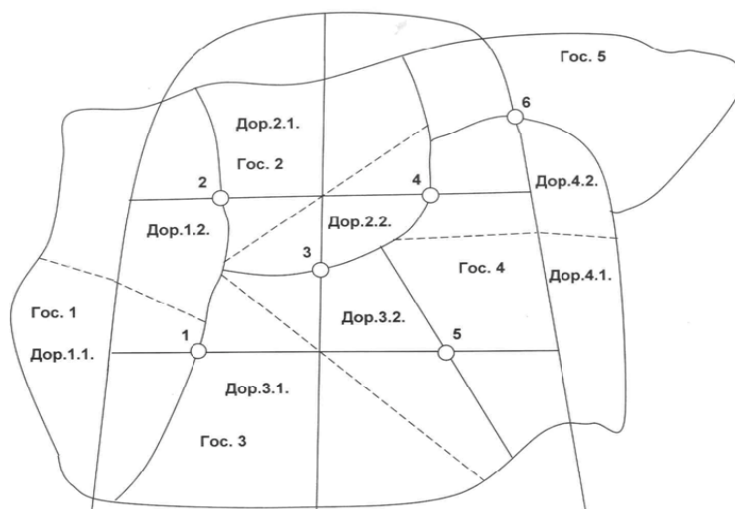


Рис. 1. Схема межгосударственной сети дорог

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Для анализа устойчивости планов регулирования возврата порожних вагонов были использованы данные межгосударственного сообщения, рис. 1, табл. 1. При планировании исполь-

зовалась модель транспортной задачи (1) – (2) [3, 4], устойчивость проверялась методом статистических испытаний [2]. При этом варьировались отправления со станций с разбросом данных в пределах от –7 % до +7 % от исходного задания, табл. 1.

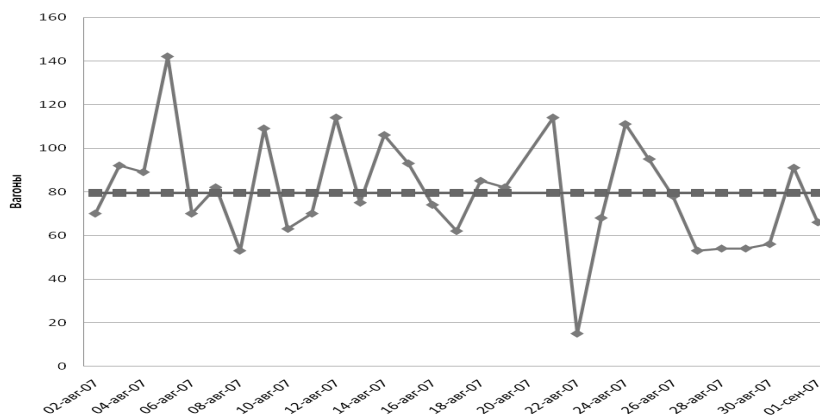


Рис 2. Объемы погрузки крытых вагонов за месяц

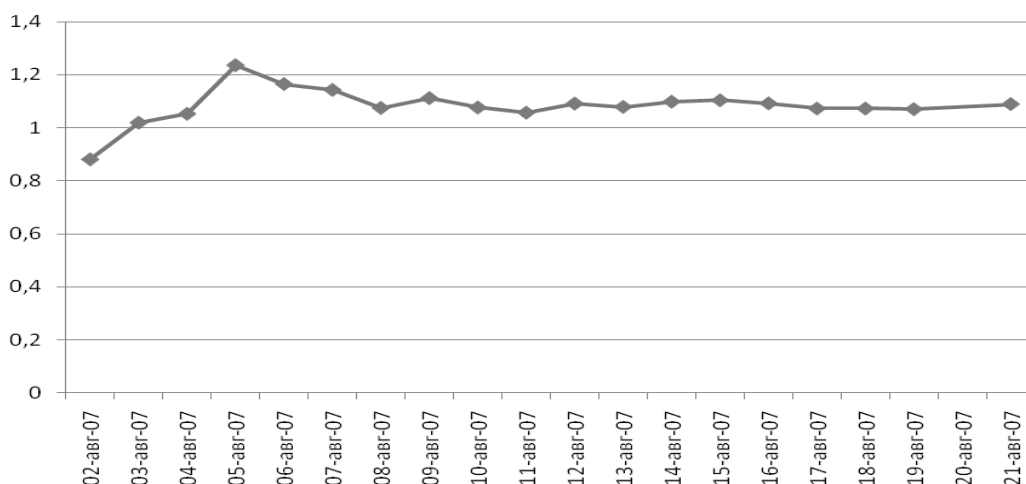


Рис. 3. Динамика использования вагонов

Таблица 1

План погрузки вагонов по межгосударственным стыковым пунктам

на с	1	2	3	4	5	6	Ито- го
1	210	0	50	0	90	80	430
2	0	200	100	60	0	50	410
3	20	100	240	40	50	20	470
4	0	80	70	170	0	120	440
5	40	0	20	0	250	60	370
6	30	50	30	60	70	160	400
Итого	300	430	510	330	460	490	2520
Ба- ланс	-130	20	40	-110	90	90	

В табл. 1 на пересечении строки и столбца указано количество вагонов, передаваемых по межгосударственному стыку. Суммы по строкам и столбцам дают общее количество вагонов, проходящих по межгосударственным стыкам. Общее число вагонов на сети определяет сумма всех отправленных вагонов. Баланс определяется как разница между погрузкой и выгрузкой, со знаком «-» избыток вагонов, «+» недостаток в вагонах. Для анализа устойчивости планов рассматривалась закрытая модель задачи.

Решение задачи оптимального регулирования сводится к решению транспортной задачи (1) с ограничениями (2). Результаты решения задачи регулирования (1), (2) приведены в табл. 2.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = A_i, i = 1, \dots, n; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = B_j, j = 1, \dots, m;$$

$$X_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m.$$

Здесь C_{ij} – расстояние от « i » до « j » станции, X_{ij} – количество передаваемых вагонов, A_i – погрузка станции « i », B_j – потребность станции « j ».

Таблица 2

Матрица регулирования для исходной задачи

на с	1	2	3	4	5	6	Итого
1	0	0	40	0	90	0	130
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	20	0	0	0	90	110
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Итого	0	20	40	0	90	90	240

Значение целевой функции основной задачи регулирования (1), (2) – 124500.

Анализ устойчивости регулировочного плана, полученного в результате решения задачи (1) – (2), был проведен методом стохастических испытаний с использованием математической модели планирования вида (3)

$$\begin{aligned}
 M\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij}\right) &\rightarrow \min; \\
 D_{\xi}(A_i, B_i X_{ij}) &= 0; \\
 D_{\xi} &\in D_{A,B}; \\
 A_{\xi} \otimes B_{\xi} &\subseteq A_{\xi} \in A_D; \\
 R\left(\sum A_{\xi} - \sum B_{\xi}\right) &\leq \varepsilon_{\xi}.
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Здесь $M(*)$ – знак математического ожидания целевой функции; $D_{\xi}(*)$ – система ограничений, сформированных на основе допустимых случайных вариаций заданий на отправление вагонов; оператор $R(*)$ – обеспечивает получение закрытой модели транспортной задачи с учетом допустимой точности. Стохастический метод планирования состоит в многократном расчете оптимальных планов согласно (3), с дальнейшим осреднением полученных результатов, относительно искомым регулировочных значений X_{ij} .

Результаты расчета математического ожидания передаваемых по стыковым пунктам вагонов для 10 и 20 и 100 решений приведены в табл. 3...5. Для формирования и решения задач (3) использовались случайные величины отправок вагонов в текущий период, распределенные по усеченному нормальному закону.

Табл. 3...5 свидетельствуют о достаточной эффективности основной детерминированной модели планирования (1) – (2) при используемых данных. Это заключение в конкретных случаях необходимо проверять средствами сто-

хастической модели планирования (3). Вместе с тем расчеты показали, что существуют полигоны, для которых небольшие изменения количества отправляемых вагонов существенным образом влияет на структуры плана и значения целевой функции.

Таблица 3

План регулирования по 10 испытаниям

с на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	0	5,2	33,6	0	91,8	0	130,6
2	0	0	0,1	0	0	0	0,1
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	16,1	5,4	0	0	88,1	109,6
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Итого	0	21,3	39,1	0	91,8	88,1	240,3

Таблица 4

План регулирования по 20 испытаниям

с на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	0	3,95	38,8	0	93,25	0	136
2	0	0	0,05	0	0	0	0,05
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	16	5,35	0	0	96	117,35
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Итого	0	19,95	44,2	0	93,25	96	253,4

Таблица 5

План регулирования по 100 испытаниям

с на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	0	3,1	36,8	0	88,94	0	128,84
2	0	0	0,04	0	0	0	0,04
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	16,06	3,83	0	0	90,24	110,13
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Итого	0	19,16	40,67	0	88,94	90,24	239,01

ДВОЙСТВЕННАЯ ЗАДАЧА И ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ПЛАНОВ

Для определения пунктов, для которых вариации исходных данных существенно влияют на решения, была использована модель двойственной задачи линейного программирования [7], позволяющая оценить чувствительности решений к вариациям ограничений задачи (1), (2).

Математическая модель двойственной задачи в нашем случае имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n Y_i A_i + \sum_{j=n+1}^{m+n} Y_j B_{j-n} \rightarrow \max. \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y_i + Y_j) \leq X_{ij}. \quad (5)$$

Здесь Y_i – цена погрузки на « i » станции; Y_j – цена выгрузки на « j » станции; X_{ij} – количество вагонов, передаваемых с « i » на « j » станцию; A_i – погрузка « i » станции; B_{j-n} – потребность « j » станции.

Результаты решения задачи (4) – (5) позволили выделить межгосударственные стыковые пункты, наиболее влияющие на регулировочный план. В табл. 6 представлен план погрузки, в табл. 7 – возврата порожних вагонов, которые были использованы для исследования чувствительности.

Таблица 6

Исходный план погрузки крытых вагонов

с \ на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	220	0	50	0	96	81	447
2	0	190	100	60	0	50	400
3	21	99	238	37	47	19	461
4	0	86	71	168	0	123	448
5	43	0	21	0	242	56	362
6	28	51	30	61	73	155	398
Итого	312	426	510	326	458	484	2516
Баланс	-135	26	49	-122	96	86	

Из решения задачи (3) для табл. 6 следует, что изменение количества вагонов из пункта 4 на 5 существенным образом влияет на план

возврата. Решение этой задачи представлено в табл. 8 и 9.

Таблица 7

План возврата порожних вагонов для табл. 6

с \ на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	0	0	39	0	96	0	135
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	26	10	0	0	86	122
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Итого	0	26	49	0	96	86	257

Значение целевой функции 136950.

Результаты оптимального планирования на основе модели (3), представленные в табл. 8 и

табл. 9, дают основания для утверждения, что вариации данных для полигонов с наибольшими коэффициентами чувствительности, соглас-

но (4) – (5), существенно изменяют план регулирования порожняка, что необходимо учитывать при разработке и реализации месячных планов. В нашем случае при изменении заданий на перевозку на незначительную величину,

составляющую в рамках общей погрузки около 0,25 %, произошло изменение плана регулирования передачи вагонов до 15...20 % по отдельным пунктам, отклонение целевой функции около 7 %.

Таблица 8

Измененный план погрузки крытых вагонов

с \ на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	220	0	50	0	96	81	447
2	0	190	100	60	0	50	400
3	21	99	238	37	47	19	461
4	0	86	71	168	10	123	448
5	43	0	21	0	242	56	362
6	28	51	30	61	73	155	398
Итого	312	426	510	326	458	484	2526
Баланс	-135	26	49	-122	96	86	

Таблица 9

План возврата порожних вагонов для табл. 8

с \ на	1	2	3	4	5	6	Итого
1	0	0	29	0	106	0	135
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	26	20	0	0	86	132
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Итого	0	26	49	0	106	86	267

Значение целевой функции 145950.

ВЫВОДЫ

В работе выполнены исследования устойчивости планов регулирования порожних вагонов в условиях суточной неравномерности заданий. На основе данных о грузовых перевозках в межгосударственном сообщении реализован метод оптимального планирования с использованием стохастической модели. Решена двойственная задача по оценке коэффициентов чувствительности, с помощью которой определены пункты, наиболее влияющие на план регулирования. Показана возможность получения неустойчивости оптимальных решений. Статистические испытания в целом свидетельствуют о достаточной эффективности детерминированной модели планирования, однако, это заключение необходимо проверять средствами

стохастического моделирования в конкретных случаях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика технического нормирования установления норм по передаче порожних вагонов инвентарного парка и собственных вагонов [Текст]. – М., 2005. – 34 с.
2. Томашевский, В. М. Моделирование систем [Текст] / В. М. Томашевский. – К.: Видавнична група ВНУ, 2005. – 352 с.
3. Нестеров, Е. П. Транспортные задачи линейного программирования [Текст] / Е. П. Нестеров. – М.: Транспорт, 1971. – С. 226.
4. Тишкин, Е. М. Автоматизация управления вагонным парком [Текст] / Е. М. Тишкин. – М.: Интекст, 2000. – С. 224.
5. Рыбакова, Т. И. Информационная технология расчета технических норм эксплуатационной работы железной дороги [Текст] / Т. И. Рыбакова // Труды ВНИАС. – 2005. – Вып. 1. – С. 200-204.
6. Тишкин, Е. М. Информационно-управляющие технологии эксплуатации вагонного парка [Текст] / Е. М. Тишкин // Тр. ВНИАС. – 2005. – Вып. 4. – С. 186.
7. Карандаев, И. С. Решение двойственных задач в оптимальном планировании [Текст] / И. С. Карандаев. – М.: Статистика, 1976. – С. 87.
8. Кудрявцев, В. А. Управление движением на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. А. Кудрявцев. – М.: Маршрут, 2003. – 200 с.

Поступила в редколлегию 08.07.2008.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ОПЕРАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Розроблено методику економічної оцінки щодо ефективності використання основних виробничих фондів операторів залізничного транспорту. Методика дозволяє розрахувати оптимальну потребу у вантажних вагонах з урахуванням фінансових і технологічних ризиків при виконанні перевезень як власними вагодонами, так і вагодонами інвентарного парку.

Разработана методика экономической оценки эффективности использования основных производственных фондов операторов железнодорожного транспорта. Методика позволяет рассчитать оптимальную потребность в грузовых вагонах с учетом финансовых и технологических рисков при выполнении перевозок, как собственными вагонами, так и вагонами инвентарного парка.

A method of economic evaluation for the efficiency of using the capital production assets of railway transport operators is developed. The method allows calculating the optimum necessity in freight cars taking into account the financial and technological risks during transportations by both own cars and cars of inventory stock.

Введение

Для операторов железнодорожного транспорта и промышленных предприятий проблема оценки рационального потребного парка в зависимости от предполагаемого объема перевозок имеет первостепенную важность. В работах [1, 2] предложена методика расчета рациональных потребностей в собственных грузовых вагонах. Основные положения [1, 2] все же не является полными. Наиболее важным остается вопрос об обязательности выполнения перевозок только собственными вагонами, особенно при существующей возможности изменений объемов перевозок в будущем. При планировании основных производственных фондов (вагонов) следует учитывать риск получить избыточный или недостаточный в будущем парк вагонов. Эти риски следует сопоставлять с затратами и другими условиями по организации перевозок, которые могут быть связаны с частичным использованием вагонов инвентарного парка. Вместе с тем, возникает проблема согласования взаимодействия вагонных парков различных собственников, как при формировании парков и планировании работы, так и при выполнении грузовых перевозок. При оценке потребности в вагонах должны быть исследованы зависимости рационального количества вагонов операторов от объема перевозки (среднесуточная погрузка вагонов).

Постановка задачи

В условиях развития рынка железнодорожных транспортных услуг главным фактором конкурентирования операторов являются их основные производственные фонды – собственные вагоны. В [3] предложена методика расчета требуемого количества вагонов операторов с учетом финансовых рисков, связанных с планированием размеров собственного вагонного парка, а также с учетом возможности выполнения перевозок инвентарным парком. Приобретение и удержание завышенного парка собственных вагонов требует от компании значительного увеличения капитальных вложений на приобретение вагонов, дополнительных эксплуатационных расходов на содержание подвижного состава и управление перевозками. При планировании перевозок собственными вагонами операторских компаний требуется организация возврата порожних вагонов после выгрузки за счет грузополучателя или непосредственно операторской компании.

В связи со сказанным актуальной является задача разработки методики оценки экономически эффективного парка вагонов и обоснования потребности в основных производственных фондах компаний операторов, которая основана на стохастических экономико-математических моделях, развивающих работу [3], где учитываются предполагаемая структура плана перевозки грузов, а также финансовые и технологические риски собственников вагонов.

Анализ использования основных производственных фондов компаний операторов

Автоматизированные системы управления грузовыми перевозками Укрзалізничці обеспечивают возможность исследований работы компаний операторов железнодорожного транспорта, чтобы на основе данных о реализациях перевозок оценить эффективность использования собственных вагонных парков компаний операторов. На рисунках представлены основные схемы работы некоторых компаний в течение месяца, обозначенных как оператор 1, оператор 2 и т.д. Рисунки показывают формы и особенности использования основных производственных фондов, структуру планирования и организации перевозок, а также отражают статистические свойства процессов эксплуатации собственных вагонных парков. Рис. 1, 3, 4 представляют возможности курсирования вагонов на различных полигонах, в то же время часть из них работает в кольцевых маршрутах (рис. 2). Рисунки отражают грузовые (толстые стрелки) и порожние рейсы (стрелки из тонких линий) по подводу вагонов под погрузку, а также количественные (первое число на стрелке) и временные характеристики (число в скобках, часы) этих процессов. На рис. 2 представлены этапы технологического цикла использования вагонов (в виде последовательности номеров).

На рис. 2, маршрут 1 указано движение груженых вагонов со станции Коммунарск (КОММ) на ст. Ильичевск (этап 1), и дальше на НИКЕЛ-ПБ, возврат порожних вагонов на ст. Ильичевск (этап 3) и перемещение порожних вагонов на ст. Ингулец, со ст. Комм. (этап 4); на ст. Ингулец выполняется погрузка вагонов назначением на ст. Комм. (этап 5) и выгрузка вагонов с подачей под погрузку на ст. Комм. (этап 6) с дальнейшим их направлением на ст. Ильичевск (этап 1). Маршрут 2 сложнее, так как в нем участвуют грузопотоки в двух направлениях.

Рис. 2 позволяет сделать заключение об очевидном различии математических моделей, необходимых для планирования перевозок по кольцевым рейсам и по всему железнодорожному полигону. В связи с этим будет и различие методов по выбору рациональной потребности в собственных вагонах. В общем случае (рис. 1, 3, 4) могут быть рассчитаны лишь оценки вероятностных характеристик времен движения вагонов по различным маршрутам и относительные частоты таких рейсов. Поэтому выбор объема основных производственных

фондов необходимо выполнять на основе стохастических моделей. Такое заключение может быть сделано относительно усовершенствования метода оценки парка вагонов операторов с учетом условий риска [3].

Методика оценки основных производственных фондов компаний операторов

Задача экономически обоснованной оценки основных производственных фондов (ОПФ) учитывает предполагаемые объемы и качественный состав перевозимых грузов при обеспечении перевозок с заданными свойствами (своевременность, стоимость либо рентабельность, надежность, др.). Задача ОПФ здесь состоит в учете стохастических свойств показателя оборота вагонов и в расчете части требуемого объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. Остальная часть требуемых перевозок должна выполняться вагонами государственного, инвентарного парка. Критерием оптимальности выбора объема вагонных парков может быть минимум суммарного экономического риска операторской компании (ОК) при реализации плана перевозки грузов.

При оценке ОПФ учитываются: среднемесячный объем перевозок, нормативное время оборота собственных вагонов, средняя загрузка вагона, дополнительные расходы времени операторской компанией на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов, дополнительные расходы времени из-за несоблюдения железными дорогами либо грузоотправителями, либо грузополучателями договорных обязательств [1, 2].

Методика и модель по оценке потребности в вагонах ОК должна базироваться на технологии «Доставка в установленный срок», когда существенным является учет таких критериев эффективности перевозок, как время перемещения груза от грузоотправителя к грузополучателю, изношенность парка вагонов, качество предоставленных услуг, надежность времени прибытия грузов.

Подытожим модель по оценке потребности в парке вагонов [1, 2], использование которой базируется на следующем.

1. Каждый вагон имеет один полигон курсирования и перевозит один вид груза.
2. Оператор имеет достаточный ресурс для приобретения, содержания и управления потребным вагонным парком.
3. Аналитический вид зависимости рационального количества вагонов собственного

парка оператора от объема перевозки считается известным, хотя при вариации условий он может изменяться.

При организации перевозок на основе совместной работы вагонных парков операторов и инвентарного парка необходимо учитывать разные параметры одного из главных показателей – оборот вагонов, а также плату за подачу порожних вагонов. Приведенные показатели далее вводятся в модель совместной работы нескольких вагонных парков в виде технологических и экономических факторов риска.

1. Остановимся на вопросах разработки математических моделей и методов по оценке рационального требуемого вагонного парка операторов на основе необходимости применения следующих положений. Учет возможности выполнения перевозок грузов по нескольким маршрутам.

2. Обеспечение экономически целесообразного взаимодействия вагонных парков различных собственников.

3. Учет экономических рисков, связанных с получением избыточного или недостаточного в будущем парка вагонов, а также с использованием части вагонов инвентарного парка.

4. Критерий выбора – минимум суммарного экономического риска при организации процесса перевозок с учетом возможности использования вагонов инвентарного парка.

Разработка модели оценки основных производственных фондов операторов

При разработке методики будем учитывать возможности выполнения грузовых рейсов собственными вагонами по нескольким маршрутам, статистический характер параметров железнодорожных перевозок, экономические риски при использовании собственного и инвентарного вагонного парка.

Стохастическая модель по оценке ОПФ может быть получена следующим образом. На основе анализа плана перевозки и возможных рейсов курсирования вагонов при его реализации выберем $j = 1, \dots, J_r$ маршрутов движения вагонов, рис. 1, 3. На основе статистической информации о времени оборота вагона по каждому из маршрутов r_j , получаемой по данным автоматизированных систем Укрзализныци, а также с учетом напряженности, объемов соответствующих перевозок, оценивается относительная частота случайного события: перевозка грузов по маршруту $j = 1, \dots, J_r$. Обозначив $Q_j^{\text{мес ср}}$ – запланированный среднемесячный

объем перевозок, а $\Theta_{\text{собст}}^{\text{дост}}$ – нормативный или фактический оборот вагонов операторской компании для r_j , на основе модели (1) – (4) определяем оценку рационального количества парка вагонов – $n_{\text{потр}}^j$. С учетом введенных обозначений статистическая оценка требуемого количества собственных вагонов компаний операторов является математическим ожиданием вида

$$N_{\text{потр}}(\omega) = \sum_{j=1}^{J_r} n_{\text{потр}}^j \omega_j. \quad (1)$$

Метод расчета ОПФ с учетом экономического риска при перевозках грузов несколькими операторами формируется, исходя из следующего. В [3] разработана математическая модель задачи оценки требуемого парка вагонов операторов, основанная на расчете части от заданного объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. В качестве источников рисков в модели выступают неопределенности в оценках ряда характеристик процесса перевозки: учет возможных изменений объемов перевозок, технологический риск, обусловленный неравномерностью процессов доставки грузов в период T_k , дополнительные затраты, связанные с износом парка вагонов, надежность времени прибытия грузов, сохранность перевозимых грузов. Названные характеристики для вагонных парков операторов и инвентарного парка имеют существенное различие [1, 2].

Для использования в качестве критерия оптимального выбора минимума суммарного экономического риска разделим планируемый объем перевозок по каждому маршруту движения на две составляющие

$$Q_j = Q_{j\text{ин}} + Q_{j\text{св}}; Q_{j\text{ин}}; Q_{j\text{св}}, \quad (2)$$

где $Q_{j\text{ин}}$ – планируемая перевозка по маршруту $j = 1, \dots, J_r$ вагонами инвентарного парка в период T_i ; $Q_{j\text{св}}$ – планируемая перевозка вагонами собственного парка оператора по тому же маршруту в период T_i ; $Q_{j\text{св}}$ – планируемая перевозка вагонами собственного парка для $j = 1, \dots, J_r$; $Q_{j\text{ин}}$ – планируемая перевозка вагонами инвентарного парка по тому же маршруту в период T_i

$$Q_j = \sum_j Q_j = \sum_j Q_{j\text{ин}} + \sum_j Q_{j\text{св}}. \quad (3)$$

Обозначим через $\Theta_{j_{ин}}$ – время оборота вагона инвентарного парка для маршрута $j = 1, \dots, J_r$, а $\Theta_{j_{св}}$ – соответствующий показатель времени движения собственных вагонов. Считаем, что относительные частоты движения вагонов по маршрутам $j = 1, \dots, J_r$ пропорциональны объемам перевозимых грузов и временам оборота вагонов. Они представляют оценки вероятности нахождения вагона на маршруте $j = 1, \dots, J_r$ и рассчитываются на основе системы равенств

$$\omega_{j_{ин}} = \Theta_{j_{ин}} Q_{j_{ин}} / \sum_j \Theta_{j_{ин}} Q_{j_{ин}};$$

$$\omega_{j_{св}} = \Theta_{j_{св}} Q_{j_{св}} / \sum_j \Theta_{j_{св}} Q_{j_{св}}. \quad (4)$$

Приближенность характеристик (4) обусловлена и тем, что при их вычислении предполагается пригодность всех собственных вагонов для перевозок, а также некоторые другие допущения такого рода. В случае необходимости учет уточняющих факторов может быть выполнен за счет, например, корректировок времен $\Theta_{j_{св}}$.

Чтобы получить оценки финансовых рисков при перевозках собственным парком вагонов, представим их в следующем виде. Пусть удельное отклонение от норматива перевозки, обеспечивающей устойчивую технологию некоторого потребителя транспортных услуг в период $T_i - \Delta \geq 0$, ведет к затратам e_1 , а при условии $\Delta < 0$ – приводит к дополнительным затратам e_2 . Обозначим вероятности технологических рисков отклонений Δ от плановых эталонных значений Q_i через величины

$P_{ji_{св}}(\Delta); P_{ji_{ин}}(\Delta)$. Тогда оценки соответствующих рисков равны:

$$\Delta E_{j_{св}} = [\Delta Q_{j_{св}} = (Q_{j_{св}} - Q_{j_{св}}(N_{св}))] * P_{j_{св}} \dot{\alpha}_q; \quad q = \overline{1, 2}, \quad (4)$$

где $Q_{i_{св}}$ – соответствует планируемым оценкам (2), $Q_{j_{св}}(N_{св})$ – действительная реализация перевозки собственным парком вагонов операторов для периода T_i , ожидаемая с вероятностью $P_{ji_{св}}(\Delta)$.

С помощью оценок рисков по периодам T_i (2) может быть рассчитана интегральная оценка экономического риска от перевозки $Q_{св}$ собственным парком операторов, а также вагонами инвентарного парка, следующим образом:

$$E_{св}^{(P)} = \sum_j e_{j_{св}}^{(P)} \omega_{j_{св}}^{(P)}, \quad (5)$$

$$E_{ин}^{(P)} = \sum_j e_{j_{ин}}^{(P)} \omega_{j_{ин}}^{(P)}, \quad (6)$$

где

$$e_{j_{св}}^{(P)} = \begin{cases} \sum_i \Delta Q_{j_{св}} P_{ji_{св}}^{(+)} \dot{\alpha}_1; \Delta_i^{св} > 0; \\ \sum_i |\Delta Q_{j_{св}}| P_{ji_{св}}^{(-)} \dot{\alpha}_2; \Delta_i^{св} < 0, \end{cases} \quad (7)$$

$P_{ji_{св}}^{(+)}, P_{ji_{св}}^{(-)}$ – оценки вероятностей событий при $\Delta \geq 0$ и $\Delta < 0$ соответственно, а

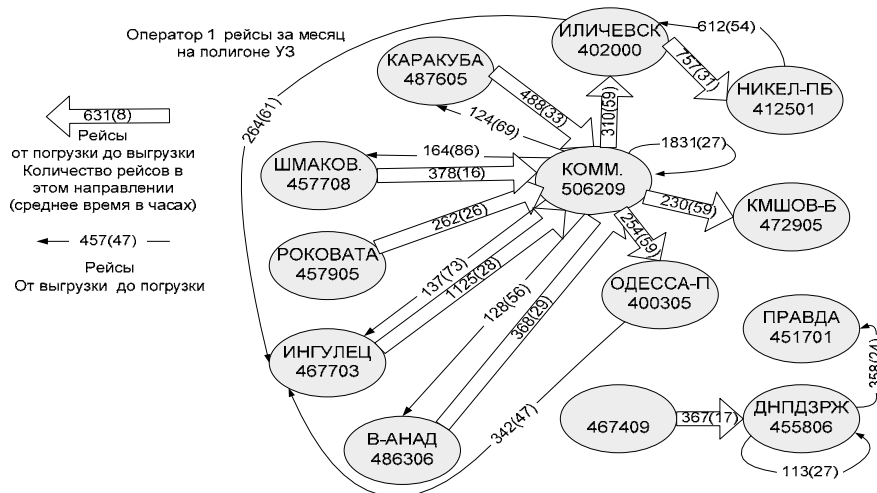


Рис. 1. Схема рейсов работы оператора 1 за месяц

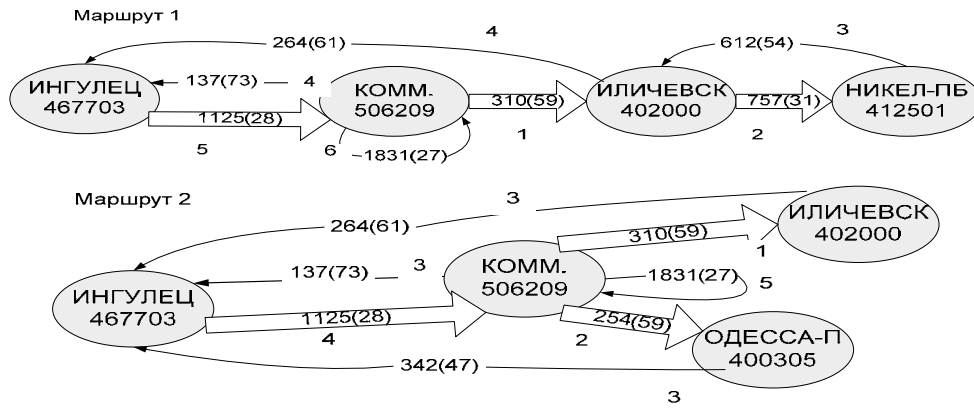


Рис. 2. Примеры кольцевых маршрутов работы оператора 1

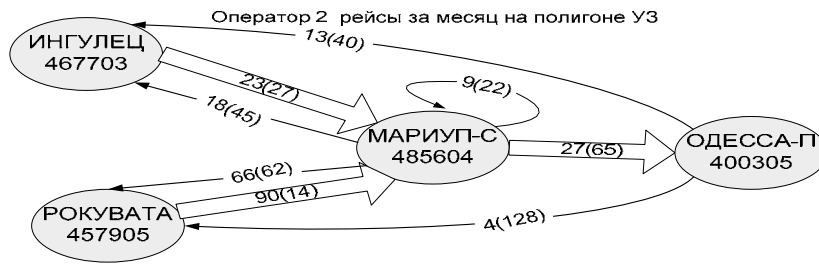


Рис. 3. Схема рейсов работы оператора 2 за месяц

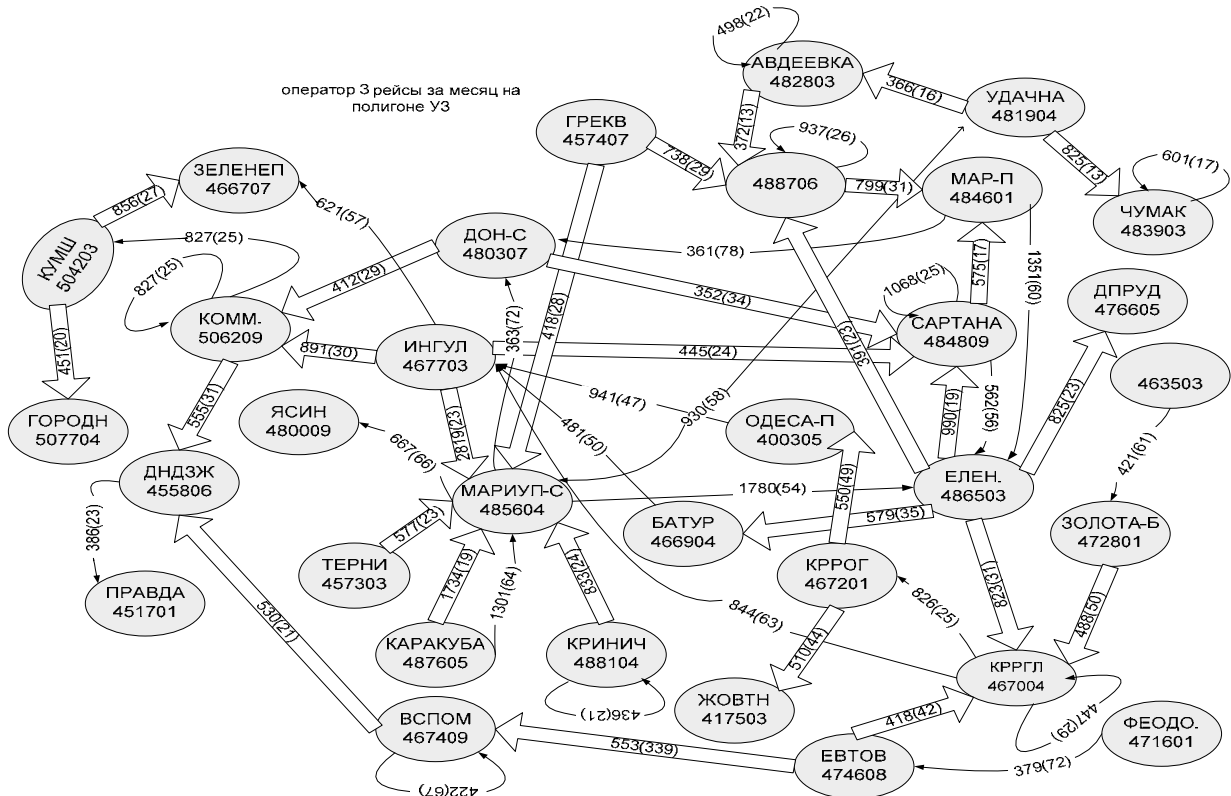


Рис. 4. Схема рейсов работы оператора 5 за месяц

$$e_{j_{\text{ин}}}^{(P)} = \begin{cases} \sum_i \Delta Q_{j_{\text{ин}}} P_{j_{\text{ин}}}^{(+)} \dot{\alpha}_3; \Delta_i^{\text{св}} > 0; \\ \sum_i |\Delta Q_{j_{\text{ин}}}| P_{j_{\text{ин}}}^{(-)} \dot{\alpha}_4; \Delta_i^{\text{ин}} < 0. \end{cases}$$

(8)

Согласно (8) формируются оценки финансовых рисков при перевозках грузов вагонами инвентарного парка. В (8) характеристики e_3 и e_4 содержательно соответствуют дополнительным

затратам (e_1, e_2), но представляют свойства перевозок вагонами инвентарного парка.

Величины (7), (8) служат оценками экономических рисков, возможных из-за неравномерности процессов доставки грузов. Дополнительные затраты, риски, а также качество услуг в виде сохранности перевозимых грузов могут быть представлены таким же образом. Для расчетов этих количественных показателей могут быть использованы результаты [1, 2].

Целевая функция и задача оптимизации по оценке величины потребного парка вагонов операторов N , полученная с использованием построенных моделей рисков, имеет вид:

$$E_{\Sigma}(N) = E_{\text{пок}}(N) + E_{\text{рем}}(N) + E_{\text{экспл}}(N) + E_{\text{упр}}(N) + E_{\text{св}}^{(P)}(N) + E_{\text{ин}}^{(P)}(N) \rightarrow \min_{Q_{\text{св}}}, \quad (9)$$

где $E_{\text{пок}}(N)$ – затраты на приобретение вагонов; $E_{\text{рем}}(N)$ – затраты на ремонт; $E_{\text{экспл}}(N)$ – затраты, связанные с эксплуатационными расходами; $E_{\text{упр}}(N)$ – управление вагонным парком; $E_{\text{св}}^{(P)}(N), E_{\text{ин}}^{(P)}(N)$ – дополнительные финансовые риски из-за неравномерности доставки грузов, полученные на основе уравнений (5), (6).

В модели задачи расчета ПВПОК (4) наряду со значениями $E_{\text{св}}^{(P)}(N), E_{\text{ин}}^{(P)}(N)$ могут быть учтены и другие дополнительные финансовые риски, связанные с износом парка вагонов, надежностью времени прибытия грузов и другими перечисленными выше факторами.

Укрупненный алгоритм расчета основных производственных фондов компаний операторов относительно рационального парка собственных вагонов, используемых на нескольких маршрутах, составляет последовательность таких операторов:

1. Задать предполагаемый объем $Q_{\text{св}}$, а также его составляющие (2).
2. Оценить показатели (3), (4).
3. Вычислить оценки затрат (7), (8) как компоненты (5), (6).
4. Перебором $Q_{\text{св}}$, последовательно изменяя предполагаемый объем грузов, который перевозится собственным вагонным парком оператора, найти $\min E_{\Sigma}(N)$ (9).

В модель задачи (2) – (10) планирования основных производственных фондов могут быть введены ограничения на отдельные составляющие $E_{\text{пок}}(N)$, $E_{\text{рем}}(N)$, $E_{\text{экспл}}(N)$, $E_{\text{упр}}(N)$

(финансовые, технологические, организационные), или же на суммарный объем используемых ресурсов, например, в таком виде

$$E_{\text{пок}}(N) + E_{\text{рем}}(N) + E_{\text{экспл}}(N) + E_{\text{упр}}(N) + E_{\text{св}}^{(P)}(N) + E_{\text{ин}}^{(P)}(N) \leq E_{\text{const}}. \quad (10)$$

Реализация дискретной экстремальной задачи (2) – (10) выполняется методом перебора в связи с высокой ответственностью принятия решения об основных производственных фондах операторской компании, а также из-за отсутствия временных ограничений на время реализации разработанной модели.

Вероятностные меры рисков $P_{ji_{\text{св}}}(\Delta)$,

$P_{ji_{\text{ин}}}(\Delta)$ и др., используемые в математической модели планирования (2) – (10), могут быть получены на основе анализа данных мониторинга процесса грузовых перевозок по данным автоматизированной системы АСК ВП УЗ. Возможны и другие методики определения параметров моделей, однако вопросы выходят за рамки представленной работы.

Выводы

Разработана методика оценки экономической эффективности использования основных производственных фондов операторов железнодорожного транспорта, в которой задача планирования ОПФ представлена как задача стохастического программирования в условиях риска. Особенность методики состоит в учете возможности многовариантного использования собственных вагонов операторов и привлечения для организации перевозок ресурсов других компаний. В рамках методики открываются возможности для кооперации нескольких перевозчиков, а также снижения финансовых и технологических рисков по доставке грузов. Для получения значений параметров математических моделей используются реальные данные автоматизированных систем грузовых перевозок Укрзализныци.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данько, М. І. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом [Текст] / М. І. Данько, В. В. Кулешов // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2004. – Вип. 57. – С. 121-128.
2. Кулешов, В. В. Удосконалення технології перевезень вагонами операторських компаній на основі ресурсозбереження [Текст]: автореф. дис.

- ... канд. техн. наук / В. В. Кулешов. – Х.: УкрДАЗТ, 2006. – 20 с.
3. Скалозуб, В. В. Оценка оптимального потребного парка вагонов операторов с учетом технологического-экономических рисков [Текст] / В. В. Скалозуб, О. В. Солтысюк, М. С. Чередниченко // Вісник Дніпроп. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 48-55.
 4. Тишкин, Е. М. Информационно-управляющие технологии эксплуатации вагонного парка [Текст] / Е. М. Тишкин // Тр. ВНИИАС. – 2004. – Вып. 4. – М., 2004. – 184 с.

Поступила в редколлегию 16.07.2008.

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПО ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ВІД ТИПУ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

Виникнення руйнування залізничного колеса обумовлено формуванням високих локальних напружень від неоднорідної пластичної деформації, циклічної зміни температур під час гальмування та типом гальмівної системи.

Возникновение разрушения железнодорожного колеса обусловлено формированием высоких локальных напряжений от неоднородной пластической деформации, циклической смены температур при торможении и типом тормозной системы.

The destruction occurrence in a railroad wheel is caused by formation of the high local stresses produced by the inhomogeneous plastic deformation, the cyclic temperature change during and after braking as well as the type of brake system.

В сучасних умовах збільшення маси рухомого складу, з одночасним підвищенням інтенсивності руху, супроводжується зростанням навантаження на залізничні колеса та рейки. Враховуючи, що в умовах високих тягових і гальмівних потужностей процес руху відбувається на межі зчеплення, питання оптимального структурного стану залізничних коліс та рейок стає достатньо актуальним. Окрім цього, для підвищених швидкостей руху значно збільшується температурний вплив, особливо в зоні контакту колесо-рейка. Наведений вплив значною мірою зв'язаний не тільки із структурним станом металу залізничних коліс та рейок, а ще і з особливостями процесу гальмування. Порівняльний аналіз впливу на метал по поверхні кочення, при використанні дискових гальмівних пристроїв і колодочної схеми, показав існування як багато спільного, так і своїх особливостей. На підставі чисельних наукових досліджень, з урахуванням специфіки навантаження, умов експлуатації, визначений різний оптимальний структурний стан металу залізничних коліс та рейок. Так, для залізничних коліс використовують термічні зміцнюючі обробки, особливо для об'ємів металу обода, які сприяють формуванню дрібнодиференційованих пластинкових структур сорбіту з переривчастою сіткою структурно вільного фериту, який розташований по колишніх великокутових аустенітних границях. Рейки, навпаки, піддаються зміцнюючим термічним обробкам, які приводять до структур поліпшення – структурні перетворення за зсувним механізмом з подальшим відпуском сталі. В цьому випадку струк-

турний стан металу – дрібнодисперсні глобулі карбідної фази рівномірно розташовані у феритній матриці.

Метою роботи є визначення якісних ознак стосовно очікуваних структурних перетворень в металі залізничних коліс при експлуатації в залежності від використання принципово різних схем гальмування.

Матеріалом для дослідження є вуглецеві сталі, які використовуються для виготовлення залізничних коліс. Аналіз внутрішньої будови металу проводили з використанням методик кількісної металографії при дослідженні структури під світловим мікроскопом.

На підставі аналізу внутрішньої будови металу обода залізничного колеса визначено, що після термічної зміцнюючої обробки структура представляє собою ферито-перлітну суміш різного ступеня дисперсності і морфології, в залежності від відстані від поверхні примусового охолодження [1]. В процесі експлуатації залізничне колесо піддається різноманітним впливам. Так, виникаючий наклеп металу по поверхні кочення, маючи визначений градієнт значень углиб обода, одночасно з градієнтом температур по товщині обода від взаємодії з рейкою, визначають характер структурних змін в металі. Однак, сам характер структурних змін в металі залізничного колеса під час експлуатації може змінюватися в залежності від використаної схеми гальмування.

Для схем гальмування з використанням гальмівних колодок визначено, що стискування залізничних коліс по поверхні кочення сприяє, з достатньо високою швидкістю, збільшенню

температури в приповерхневих прошарках металу. При цьому температура розігріву за різними оцінками [2] в прошарку металу до 1 мм може досягати значень, достатніх для початку фазових перетворень (до 800 °C). Так, для об'ємів металу, які піддаються нагріву до 600...650 °C з попереднім наклепом, адекватним 40...50 % пластичної деформації, в місцях перлітних колоній спостерігається формування частково (в залежності від ступеня пластичної деформації та температури нагріву) сфероїдизованих карбідних часток (рис. 1). Прошарки структурно вільного фериту (по стехіометрії в колісних сталях об'ємна частка може досягати до 25 %) після наведеного впливу можуть перетворюватися в ланцюги, які складаються з дрібних зерен різної морфології. Зменшення відстані від поверхні кочення сприяє одночасно збільшенню ступеня наклепу металу обода та температури розігріву. Як визначено дослідженнями [3], нагрів вуглецевої сталі з 0,6 % C до температур 700...720 °C після попередньої пластичної деформації 60...70 % супроводжується розвитком процесів рекристалізації, причому розмір зерна фериту обернено пропорційний швидкості нагріву та величині наклепу. Враховуючи, що п'ятно контакту залізничного колеса-рейки має достатньо малий розмір, за одне обертання колеса на поверхні кочення формується вузька смуга з визначним ступенем наклепу, в той час як сусідні ділянки на поверхні кочення залишаються незмінними. Таким чином, тільки за рахунок взаємодії колеса з рейкою при вільному коченні виникає достатньо неоднорідний наклеп металу по робочій поверхні обода.

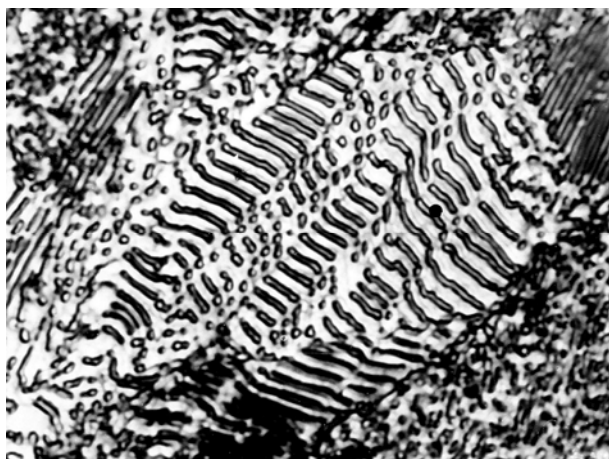


Рис. 1. Структура перлітної колонії вуглецевої сталі після деформації 30 % нагріву, до 650 °C (збільшення 2000)

В процесі гальмування, при взаємодії гальмівних колодок з колесом, відносно рівномір-

ний розігрів металу по всій контактній поверхні супроводжується розвитком процесів структурних перетворень з одночасним вирівнюванням по об'єму та зниженням накопичених дефектів кристалічної будови металу. Окрім цього, гальмівні колодки виконують функцію інструмента, який знімає поверхневий шар металу, в тому числі і ділянки з невеликими поверхневими ушкодженнями.

Таким чином, в процесі гальмування відбувається рівномірне зрізання неоднорідно наклепаного, з можливими поверхневими ушкодженнями прошарку металу, що може розглядатися як, свого роду, процес підвищення якості поверхні кочення. Розігрів поверхні сприяє релаксації внутрішніх напружень від залишків наклепаного металу.

В подальшому, при експлуатації залізничного колеса структурні зміни по поверхні кочення будуть мати свій розвиток. Після закінчення етапу гальмування, без зупинки потяга, розігріте колесо з частково знятим прошарком ушкодженого металу, далі піддається пластичній деформації з підвищеною температурою розігріву. Коли ступеня розігріву достатньо, відбуваються процеси релаксації внутрішніх напружень на місці. При поступовому зниженні температури, процеси, що послідовно розвиваються – рекомбінація дефектів кристалічної будови до приблизно 400 °C, динамічне деформаційне старіння до 350...200 °C – можуть приводити до збільшення міцнісних властивостей при незмінності запасу пластичності, а в деяких випадках і до підвищення пластичності та опору крихкому руйнуванню [4].

Характер структурних змін при експлуатації залізничного колеса при використанні дискової гальмівної системи дещо відрізняється від характеру змін, що спостерігається при використанні колодок. По-перше, необхідно відмітити, це відсутність рівномірного розігріву металу по поверхні кочення. Виникаючий наклеп металу від взаємодії з рейкою, як згадано вище, має дуже високу неоднорідність по поверхні кочення. Передача енергії при гальмуванні від гальмівних дисків, через вісь колісної пари на місце контакту з рейкою обмежується достатньо малою площиною. На підставі цього можна вважати, що виникають достатньо великі напруження від високої щільності енергії. Обумовлено це відносно низькими температурами розігріву приповерхневих прошарків металу колеса. В цьому випадку відсутність розвитку релаксаційних процесів (недостатньо висока температура), накопичення дефектів кристаліч-

ної будови до максимально можливої межі, а при неодноразовому початку роботи гальмівних елементів до невиконання умов зчеплення, все це буде сприяти виникненню дефектів по поверхні кочення та вилученню коліс з експлуатації. Враховуючи експериментальні дані [5], які свідчать, що протягом останнього часу почастишали випадки, при використанні дискової системи гальм, передчасного вилучення коліс по невиконанню умов геометрії. Поверхня кочення залізничного колеса від форми у вигляді кола відносно швидко перетворюється в багатокутник. Наведені відомості можуть розглядатися як одне із підтверджень ймовірності структурних перетворень в металі обода колеса при використанні принципово різних систем гальмування.

Висновки

На підставі проведеного аналізу структурних змін в металі обода залізничних коліс при експлуатації, з використанням принципово різних гальмівних систем визначено, що по поверхні кочення розвиток процесів структурних перетворень має свої особливості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вакуленко, И. А. Технологические особенности производства упрочненных железнодорожных колес [Текст] / И. А. Вакуленко, О. Н. Перков // Вісник Дніпроп. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 216-218.
2. Данченко, Н. И. Зависимость усталостной прочности и ударной вязкости колесной стали от её структурного состояния [Текст] / Н. И. Данченко, О. Н. Перков, Т. А. Гладкова. – В кн.: Теория и практика термической обработки проката. – М.: Металлургия, 1984. – С. 43-45.
3. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
4. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании [Текст] / И. А. Вакуленко. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.
5. Выбор стали для колес – альтернативы и возможности. Обзор сталей [Текст] // ЖДМ. – 2007. – № 12. – С. 38-43.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ), О. Н. ПЕРКОВ (ИЧМ НАНУ, Днепропетровск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

В статті розглядається вирішення актуальної науково-технічної проблеми – розробка технології зміцнюючої термічної обробки залізничних коліс.

В статье рассматривается решение актуальной научно-технической проблемы – разработка технологии упрочняющей термической обработки железнодорожных колес.

In the article the solution of urgent scientific and technical problem is considered – the development of technology of hardening thermal treatment of railroad wheels.

Эксплуатационная надежность железнодорожного колеса во многом определяется уровнем ударной вязкости материала диска, а также стойкостью обода к зарождению термических трещин по поверхности катания. Основными видами разрушения колес в эксплуатации по элементам являются усталостные повреждения диска с зарождением трещин в приободной части на внутренней стороне колеса и разрушение обода вследствие распространения термических трещин. Уровень ударной вязкости стали, особенно её хладостойкость, в значительной степени определяется структурным состоянием, формируемым при термической обработке колеса. Известно, что стойкость обода к распространению термических трещин

существенно повышается при наличии в нём сжимающих тангенциальных остаточных напряжений [1].

На основе анализа нормативно-технической документации [2] большинство производителей железнодорожных колес используют углеродистые стали с содержанием углерода в интервале 0,55...0,65 %. В горячекатаном состоянии или после отжига, структура указанных сталей с учетом стехиометрии может включать до 25 % структурно свободного феррита. Указанная структурная составляющая располагается в виде сетки по границам бывших аустенитных зерен или отдельных зерен, после достаточно медленного охлаждения (рис. 1а).

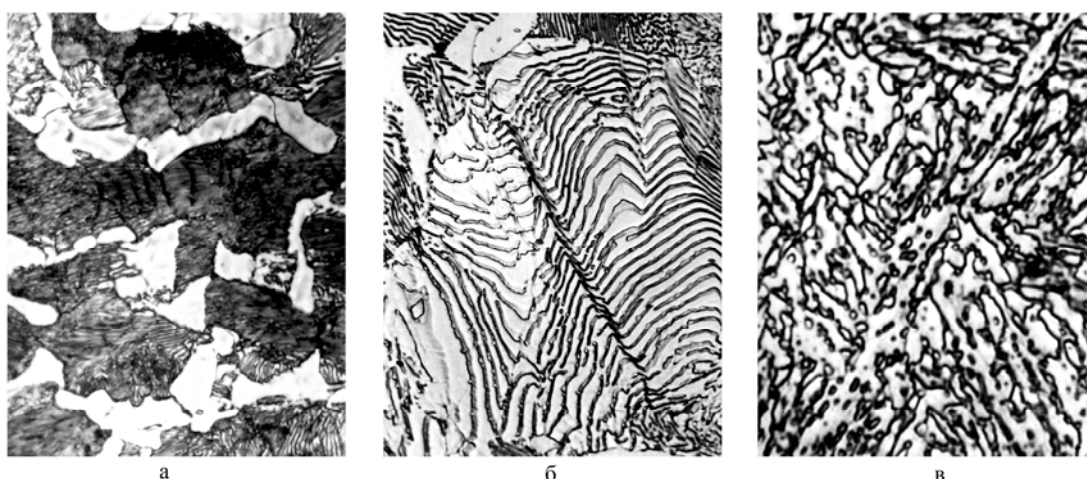


Рис. 1. Структура стали с 0,6 % С после нормализации (а), изотермического распада при температуре 650 °С (б), формирования бейнита и последующего отпуска при 650 °С (в), (увеличение а – 800; б, в – 2000)

Увеличение скорости охлаждения, например как в случае термической обработки элементов железнодорожных колес (обод, диск, места перехода диска к ободу и ступице), сопровождается, одновременно с диспергированием перлитных колоний, уменьшением объемной доли структурно свободного феррита за счет форми-

рования псевдозвтектоида. Однако, для указанных содержаний углерода (0,55...0,65 %) даже при достижении максимально возможных скоростей охлаждения (ограничение геометрическими размерами обода) их все же недостаточно для полного исчезновения избыточного феррита. Оптимальной структурой для дости-

жения требуемого комплекса свойств в ободе железнодорожного колеса является структура пластинчатого сорбита с прерывающейся сеткой структурно свободного феррита (рис. 1б). Полученные данные относительно оптимального структурного состояния углеродистой стали, предназначенной для изготовления железнодорожных колес, вместе с известными техническими решениями по технологии термического упрочнения позволили разработать [3] и успешно использовать в настоящее время упрочняющую обработку как полностью железнодорожного колеса, так и отдельных его элементов.

Учитывая возникновение достаточно сложного напряженного состояния в металле диска при эксплуатации, что обусловлено конструктивными особенностями, эпюрой напряжений, можно полагать, что использование упрочняющей термической обработки элементов диска окажет существенное влияние на напряженное состояние других элементов колеса, например обода.

В условиях промышленного производства железнодорожных колес поиск оптимальных параметров термического упрочнения позволил определить влияние интенсивности охлаждения на процессы структурных превращений в металле колес. Так, использование принудительного охлаждения диска, особенно в местах его перехода к ободу и ступице, при длительности 10...15 с и интенсивности подачи охладителя $0,08...0,12 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, позволило достигнуть скорости охлаждения $20...60 \text{ }^\circ\text{C/с}$ с образованием бейнитной структуры на глубине от поверхности теплоотвода до 20 % толщины диска. С другой стороны, увеличение интенсивности подачи охладителя более $0,12 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ привело к излишнему охлаждению поверхностного слоя до температур ниже M_n . В этом случае не достигаются условия разогрева охлажденного металла, за счет тепла внутренних объемов, до требуемого уровня. Разогрев должен быть адекватным влиянию на процессы структурообразования отпуска при $600...650 \text{ }^\circ\text{C}$. Такого нагрева достаточно, даже при коротких выдержках, для формирования глобулярных структур (рис. 1в). Уменьшение интенсивности подачи охладителя менее чем $0,08 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ привело к снижению скорости охлаждения поверхностного слоя. В этом случае формирование преимущественно перлитных структур с пластинчатым строением карбидной фазы не обеспечивало достижения необходимого уровня хладостойкости.

На основании проведенных исследований была разработана технология термоупрочнения железнодорожных колес, которая прошла опробование на серийно изготавливаемых, в колесопрокатном цеху Нижнеднепровского трубо-

прокатного завода, цельнокатаных колесах диаметром 957 мм из стали с 0,58 % С и 0,78 % Мп. Колеса перед термической обработкой обрабатывали на номинальные размеры по [4] (толщина диска в месте перехода в обод составляла 17 мм, а в ступицу – 24 мм). Колеса нагревали в печи с температурой $850 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2,5 ч. Ободья всех колес принудительно, прерывисто охлаждали в закалочной машине в течение 140 с с интенсивностью подачи воды $0,12 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Одновременно металл диска и места его перехода в обод и ступицу подвергали охлаждению с интенсивностью подачи воды $0,10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ в течение 12 с.

Заключительной операцией был отпуск при температуре $500 \text{ }^\circ\text{C}$, длительностью выдержки 2,5 ч. Анализ комплекса свойств производили на образцах, которые отбирались от диска в местах перехода диска в обод. В результате использованной термической обработки комплекс свойств металла железнодорожного колеса составил значения: предел прочности при растяжении 880 Н/мм^2 ; относительное удлинение и сужение соответственно 19 и 49 %. Величина ударной вязкости при температурах испытания $+20, -20$ и $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ составила значения 0,8; 0,4 и $0,3 \text{ МДж/м}^2$, соответственно. Величина остаточных напряжений в ободе колеса, определяемая по методике сходимости концов обода после разрезания колеса от гребня к ступице, составила значение 2,2 мм, что является достаточным по требованиям нормативно-технической документации.

Таким образом, использование ускоренного охлаждения элементов колеса, как составляющей общего технологического процесса производства, обеспечивает повышение конструктивной прочности и надежности за счет достижения высокого комплекса свойств, особенно значений ударной вязкости металла, с одновременно высокой стойкостью обода к зарождению и распространению термических трещин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ларин, Т. В. Пути повышения надежности и долговечности цельнокатаных колес [Текст] / Т. В. Ларин, Ю. М. Парышев // Железнодорожный транспорт. – 1973. – С. 56-59.
2. ГОСТ 10791. Колеса цельнокатаные. Технические условия [Текст].
3. Данченко, Н. И. Зависимость усталостной прочности и ударной вязкости колесной стали от ее структурного состояния [Текст] / Н. И. Данченко, О. Н. Перков, Т. А. Гладкова. – В кн.: Теория и практика термической обработки проката. – М.: Металлургия, 1984. – С. 43-45.
4. ГОСТ 9036. Колеса цельнокатаные. Конструкция и размеры [Текст].

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Наведена робота присвячена технологіям зварювання з використанням різноманітних джерел енергії.

Представленная работа посвящена технологиям сварки с использованием различных источников энергии.

The paper presents technologies of welding with the use of different energy sources.

Технический прогресс в промышленности неразрывно связан с постоянным совершенствованием сварочного производства.

Нельзя переоценить роль сварочного производства и в железнодорожной отрасли. С реализацией программы о внедрении скоростного движения поездов на территории Украины возникает проблема создания отечественного тягового подвижного состава, к которому будут предъявляться требования высокой эксплуатационной надежности, безотказности, ремонтнопригодности и т.д. Соответственно, всеми этими качествами должны обладать основные несущие узлы (тележки, рамы кузовов) и конструкции (кузова вагонов и локомотивов), которые изготавливаются с использованием электродуговых методов сварки. Современные условия эксплуатации железнодорожного транспорта учтены в нормативно-технической документации на изделие. Важнейшим направлением при разработке конструкций подвижного состава является максимально допустимое снижение массы при сохранении эксплуатационной безопасности. Одним из решений поставленной задачи является использование сталей, обладающих более высоким комплексом свойств по сравнению с используемыми. Примером может быть использование термомеханически упрочненных сталей взамен горячекатаных, либо с особыми свойствами, такими как нержавеющие стали и т.д.

Учитывая, что доля сварочно-наплавочных работ в ремонтных технологиях подвижного состава может достигать 40 %, то использование новых материалов и сплавов с повышенным комплексом свойств потребует если не разработки принципиально новых технологий сварки, то обязательно корректирования используемых в настоящее время [1, 2].

Разработка технологии электродуговой сварки произвела технологическую революцию в промышленном производстве. Однако, рост

требований современного производства ограничивает ее использование. На основании этого технологии электродуговой сварки с относительно небольшой концентрацией энергии в дуге и одновременным несовершенством защиты металла от взаимодействия с атомами газов атмосферы могут рассматриваться как несовершенные. Кроме этого, значительные размеры сварочного шва и зоны термического влияния обуславливают большие потери электрической энергии и, что особенно важно, существенные остаточные деформации в готовых конструкциях. Указанные недостатки в значительной мере компенсируются, при использовании иных источников с высокой концентрацией энергии, таких как лазерный, электронный лучи с вакуумной защитой металла шва, сварка в твердом состоянии и т.д.

Механизированная сварка под флюсом, как разновидность электродуговой, в последние несколько десятилетий получила широкое распространение [1]. Так, производительность работ по сравнению с ручной сваркой возросла в 5...12 раз. Обусловлено это использованием больших значений сварочного тока, что привело к росту глубины проплавления основного металла и, как следствие этого, возможностью сваривания металла повышенной толщины без специальной подготовки кромок. Высокое качество сварочного соединения в этом случае достигается за счет защиты расплавленного металла от влияния окружающей атмосферы, возможности легирования расплавленным шлаком и т.д. Кроме этого, наличие шлака на поверхности шва позволяет варьировать скоростями кристаллизации сварочной ванны и охлаждением металла шва. Постоянное усовершенствование технологии механизированной сварки способствует ее широкому использованию, как пример разработка специальных автоматических и полуавтоматических систем. Вместе с этим не решен ряд проблем, к основ-

ным из которых можно отнести повышенную жидкотекучесть расплавленного металла и, в основном, флюса. На основании этого указанная технология используется, в основном, для сваривания в нижнем положении, при отклонении шва от горизонтали не более чем на $10...15^\circ$ [1, 3].

Как разновидность механизированной сварки – использование среды защитных газов. Широкий диапазон применяемых защитных газов обуславливает большое распространение этого способа, как в отношении свариваемых металлов, так и их толщин (от 0,1 мм до десятков миллиметров). Основные преимущества – это высокое качество сварных соединений на изделиях из разнообразных сплавов, разной толщины и малого угара легирующих элементов; возможность сварки в различных пространственных положениях; возможность визуального наблюдения за формированием сварочного шва; высокая производительность и возможность автоматизации процесса.

Как и всякий технологический процесс, механизированные способы требуют устранения определенных несовершенств. К основным следует отнести разработку защитных мер против светового и теплового излучений; компенсации возможных нарушений однородности газовой среды и т.д.

Для механизированных видов сварки использование порошковых материалов для изготовления электродов явилось качественно новым технологическим решением. Качество сварного соединения в значительной степени определяется и конструкцией порошковой проволоки, и особенностями ее расплавления. Сердечник проволоки, состоящий на 50...70 % из неметаллических, неэлектропроводных материалов, плавится дугой от металлической оболочки. Ввиду того, что плавление компонентов сердечника может отставать от расплавления оболочки, указанные материалы будут попадать в сварочную ванну в нерасплавленном состоянии, что в целом будет снижать качество сварного шва. Малые толщины оболочек порошковых проволок требуют использования специальных разработанных механизмов подачи, например, с двойным приводом и малым давлением обжатия. Металлургические особенности процесса сварки порошковыми проволоками достаточно чувствительны к незначительным отклонениям технологии, что приводит к снижению качества соединения металла.

В последние десятилетия широкое распространение получили процессы сварки с исполь-

зованием альтернативных (электрической дуге) источников энергии [3]. Примером может служить использование лазерного луча для соединения отдельных элементов при изготовлении изделий, предназначенных для широкого круга потребителей. Лазерный луч при помощи оптической системы может легко передаваться на значительные расстояния с необходимой ориентацией без потерь энергии. Энергетические характеристики луча легко регулируются, процесс лазерной обработки легко управляется и поддается автоматизации.

Лазерная сварка, как и электронно-лучевая, имеет существенные преимущества перед многочисленными разновидностями электродуговых технологий. За счет высокой концентрации энергии объем сварочной ванны в несколько раз меньший, чем для электродуговых. На основании этого формирование тонких швов с полным проплавлением способствует уменьшению остаточной деформации изделия в несколько раз, позволяет исключить дополнительную механическую обработку. Ускоренный термический цикл при лазерной сварке обеспечивает возможность уменьшения зоны термического влияния и, как следствие этого, снизить длительность пребывания металла при высоких температурах. Указанная особенность технологии способствует предотвращению формирования трещин различной природы происхождения.

Выводы

На основе анализа технологических особенностей процесса сварки с использованием различных источников энергии представляется целесообразным, параллельно с традиционно используемыми технологиями для ремонтно-восстановительных работ изделий железнодорожного транспорта, использовать более прогрессивные на основе лазерного, электронного лучей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Квасницький, В. В. Спеціальні способи зварювання [Текст] / В. В. Квасницький. – Миколаїв.: УДМТУ, 2003. – 437 с.
2. Сварка и родственные процессы в промышленности [Текст] // Доклады 2-го науч.-техн. семинара. – К.: Экотехнология, 2007. – 94 с.
3. Малышев, Б. Д. Сварка и резка в промышленном строительстве [Текст]: справочник / Б. Д. Малышев. – М.: Стройиздат, 1989. – 590 с.

Поступила в редколлегию 26.08.2008.

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

У статті наведені результати досліджень появи дефектів у залізничних колесах, систематизація та спроба пояснення причин їх виникнення.

В статье приведены результаты исследований появления дефектов в железнодорожных колесах, систематизация и попытка объяснения причин их появления.

In the article the research results of occurring defects in railroad wheels, the systematization and attempt of explaining the causes of occurring them are presented.

Колеса залізничного рухомого складу, особливо вантажних вагонів, працюють у достатньо складних умовах, піддаються значним статичним (обумовленим вагою кузова та візків), динамічним (виникаючим у процесі взаємодії колесо-рейка, особливо в кривих малого радіуса, при проходженні стиків, стрілочних переводів, а також через повздовжні зусилля в потязі) і термічним (що викликається такими, наприклад, чинниками, як тертя гальмівних колодок по поверхні кочення) навантаженням. Наведені фактори експлуатаційного характеру разом з недосконалістю вимог нормативно-технічної документації на вироби в сукупності призводять до передчасного вилучення з експлуатації залізничних коліс.

Різноманітність сформованих дефектів спонукає об'єднати їх у групи за кваліфікаційними ознаками.

За основу класифікації може бути прийнятий загальний принцип, який використовується на залізниці.

Так, несправності залізничних коліс класифікують за зовнішніми ознаками та за умовами їх виникнення [1]:

- раптові (злам елементів колеса під час аварії, навари, повзуни);
- поступові (зношеність, місцева пластична деформація ободу колеса);
- незалежні та залежні, які охоплюють діапазон від несправностей експлуатаційного характеру до тих, що виникають під час виготовлення;
- повні та часткові, коли неможлива та можлива подальша експлуатація виробу, відповідно.

Дефекти експлуатаційного характеру можна розділити на декілька категорій, причому руйнування колеса по поверхні кочення – один із дефектів, що найчастіше зустрічається:

- **дефекти поверхні кочення:** навар, повзун, місцеве розширення (розчавлювання ободу),

вищербини, вищербини по тріщинах втомленості, вищербини по сітці термічних тріщин, поверхневий відкол зовнішньої грані колеса, відкол кругового напливу;

- **тріщини та злами:** поперечні тріщини, повздовжні тріщини, сітка термічних тріщин в ободі колеса, формування кільцевих тріщин.

У свою чергу, такий поверхневий відкол на зовнішній грані обода (рис. 1) може бути розділений, в першому наближенні, на декілька різновидів у залежності від особливостей поверхні руйнування металу.

Так, у випадку, коли візуально спостерігають існування ознак втомлення, аналіз поверхні руйнування дозволяє визначити осередки зародження тріщини та процес її зростання, дослідити етапи повільного, прискореного росту та остаточне руйнування (як при статичному навантаженні). На підставі знаходження напрямку зростання тріщини можна знайти осередок та надалі визначити причини виникнення тріщини [2].



Рис. 1

Другий вид – це коли на поверхні кочення колеса можна спостерігати ознаки виникнення

розшарування металу з подальшим послідовним відколом. Зростання тріщин в цьому випадку може відбуватися як послідовно, так і паралельно у площинах, що взаємно пересікаються. Формування наведених ушкоджень металу найбільш вірогідно пов'язане з існуванням у визначених місцях підвищеної кількості неметалевих включень. Міжфазна поверхня включення-матриця в процесі навантаження металу стають місцями формування субмікротріщин, які будуть зростати пропорційно коефіцієнту інтенсивності напружень.

Найчастіший напрямок зростання таких мікротріщин – орієнтація уздовж площин паралельно поверхні кочення. Окрім цього, на процес зародження тріщин може впливати різниця в діаметрі коліс, які складають колісну пару. При перевищенні допустимих норми в різниці діаметрів, за рахунок підтримки умов однакової швидкості руху коліс, будуть виникати моменти, які спрямовані на компенсацію наведеної різниці в геометрії коліс. Такі моменти будуть призводити до складних деформацій візків та ін.

Особливо небезпечним є різновид ушкодження, коли присутні ознаки одночасно від декількох впливів. Прикладом може бути розчавлення ободу та крихке руйнування при динамічному або циклічному навантаженні.

Відкол на поверхні кочення шару металу з ознаками втомлення

Найчастіше в цьому випадку причиною такого руйнування є наявність в обмеженому об'ємі металу визначеної концентрації неметалевих включень, які за розмірами і кількістю значно перебільшують нормативні показники [3]. Однак, залягання наведених неметалевих включень на глибині від поверхні кочення (для нового колеса) можуть не призводити до виникнення критичного рівня концентрації напружень при навантаженні в процесі експлуатації колеса. У таких випадках в експлуатації колеса, за рахунок розвитку процесів зносу та обточування металу, відстань залягання наведених неметалевих включень від поверхні кочення буде зменшуватись. Після досягнення критичного значення відстані неметалевих включень від поверхні кочення на окремому етапі відбувається зародження субмікротріщини [4]. Після останнього обточування колеса, коли відстань тріщини від поверхні кочення досягне критичного значення, швидкість її зростання значно зросте і, врешті-решт, відбудеться руйнування колеса (рис. 2, 3).

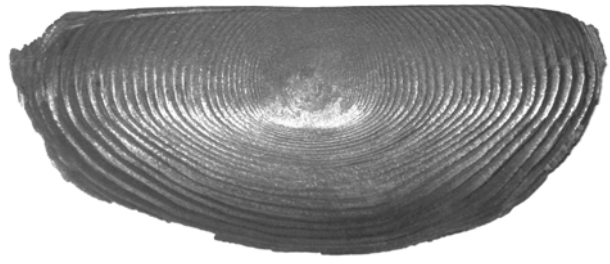


Рис. 2



Рис. 3

Таким чином, можна вважати, що для достатньо великої кількості випадків відкол ободу колеса обумовлений сумарним впливом від визначених чинників. На підставі цього, тільки ретельний аналіз дозволить визначити реальну картину формування ушкодження колеса під час експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Класифікація несправностей вагонних колісних пар та їх елементів [Текст]. – К.: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2006. – 79 с.
2. Вакуленко, І. О. Чинники, які впливають на розвиток втомленості металу в процесі експлуатації залізничних коліс [Текст] / І. О. Вакуленко, О. Н. Перков, М. А. Грищенко // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 70-71.
3. ГОСТ 10791. Колеса цельнокатаные. Технические условия [Текст].
4. Вакуленко И. А. Факторы, влияющие на надёжность и долговечность железнодорожных колёс [Текст] / И. А. Вакуленко, Г. В. Рейдемейстер, О. Н. Перков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 9. – Д. : Вид-во ДНУЗТ, 2005. – С. 129-132.

Надійшла до редколегії 25.09.2008.

РОЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

Розглядається залізничний транспорт України з позицій сталого розвитку.

Рассматривается железнодорожный транспорт Украины с позиций устойчивого развития.

The railway transport of Ukraine is examined from positions of the sustainable development.

Порядок денний на XXI сторіччя

Концепція сталого розвитку людства найповніше була відображена у «Порядку денному на XXI сторіччя», який був прийнятий на конференції ООН у Ріо-де-Жанейро у 1992 році [1]. Цей документ став путівником для прогресивного людства на шляху рятування цивілізації від загибелі. Однак слід відзначити, що деякі представники виробничої сфери і сьогодні вважають ці загрози перебільшеними і продовжують шлях на знищення ресурсів і навколишнього середовища. Велика кількість положень «Порядку денного на XXI сторіччя» стосується безпосередньо або опосередковано роботи транспортної системи.

Комплексний підхід до розвитку транспортної системи України чітко вказує на пріоритетне значення залізничного транспорту з позицій сталого розвитку [2]. Безумовною є необхідність максимального переведення якомога більшого обсягу вантажних та пасажирських перевезень на залізничний транспорт для зменшення забруднення повітря і шуму та інших впливів транспорту на суспільство. В той же час, дуже мало роботи проводиться залізницями щодо пропаганди в засобах масової інформації екологічної безпечності та ефективності залізничного транспорту з позицій сталого розвитку.

Транспорт, окрім забруднення і шуму, несе небезпеку здоров'ю і життю людей, що пов'язано з аварійністю. Кількість загиблих в Євросоюзі від автомобільних аварій становила на початку XXI сторіччя майже 40 тис. людей на рік. Слід відзначити, що у 1970 р. кількість загиблих була майже вдвічі більшою (табл. 1). З наведеної таблиці добре видно, наскільки безпечнішим є залізничний транспорт порівняно з автомобільним. При цьому слід відзначити, що кількість загиблих на залізницях за 30 останніх років минулого сторіччя по відношенню до об-

сягів перевезень, знизилась на залізницях у 4 рази.

Таблиця 1

Рік	Кількість загиблих		
	На залізничному транспорті, включаючи переїзди	Тільки пасажирів поїздів	В автомобільних аваріях
1970	2044	381	77831
1980	1395	318	64237
1990	988	165	56413
1996	861	93	43626
1997	846	134	43312
1998	953	186	62643

У 2000 р. в автомобільних аваріях в Євросоюзі загинуло 40,8 тис. людей, в США – 41,9 тис. людей, в Японії – 10,4 тис. людей, в Росії – 29,0 тис. людей. Можна вважати, що в світі вже йде Третя світова війна поміж автомобілями та людством. Україна, яка має суттєво менший рівень автомобілізації населення, втрачає на кожну тисячу автомобілів у 7 раз більше людей порівняно з Європою. У 2007 р. в автомобільних аваріях в Україні загинуло 9481 людей. Слід відзначити, що в Європі (на відміну від України) загиблими в аваріях вважаються також всі ті, хто помер від травм на протязі 30-ти діб після аварії.

У 29-ти країнах, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, підраховали, що з 1994 по 2003 рр. від автомобільних аварій загинуло людей в 390 разів більше, ніж від терактів. Кожні 9 днів від автомобільних аварій гинуло стільки ж людей, як від відомого теракту в США 11 вересня.

Залізничний транспорт може зменшити негативні тенденції перерозподілу населення поміж великими і малими містами, оскільки наяв-

ність надійної транспортної інфраструктури є однією з важливих складових умов життя.

Дуже важливим є розуміння необхідності всього сприяння розвитку в Україні систем безпечного громадського транспорту, особливо у великих містах. Нажаль, якщо і передбачаються бюджетні асигнування на розвиток транспорту, то тільки для автомобільного транспорту, який і так є достатньо великим навантаженням на суспільство.

Не вдається поки що у великих містах зменшити вкрай неефективні і небезпечні системи перевезень пасажирів на мікроавтобусах, втілюючи замість них ефективні і безпечні системи перевезень на міському електротранспорті, а ще краще – рейкові системи міських електричок та легкого метро.

Зовсім не проводиться робота, яка була б пов'язана з підвищенням обізнаності громадськості з дією різних транспортних систем на навколишнє середовище і на розвиток самого суспільства.

Нещодавні стихійні лиха на заході України продемонстрували суспільству, що висока надійність залізничного транспорту дозволила вийти на нормальний режим функціонування значно швидше і з меншими витратами при порівнянні з автомобільним транспортом. В той же час, величезна кількість державних коштів була спрямована на відновлення автомобільного транспорту, а залізничники виконали всі відновлювальні роботи практично власним коштом.

Сьогодні при прийнятті більшості рішень, які стосуються розвитку транспортної системи України, практично відсутнє комплексне врахування економічних, соціальних і екологічних чинників. Вже не перший раз планується виділяти достатньо великі кошти на розвиток автомобільного транспорту, в той час як у більш надійного і безпечного залізничного транспорту прибутки направляються в держбюджет замість розвитку рейкових систем у містах.

Як відомо, на розвиток автомобільних доріг в Україні у 2007 р. було спрямовано більш як 7 млрд грн, а у 2008 р. передбачено понад 9 млрд грн. Мало того, що такі величезні кошти спрямовуються на розвиток транспорту, який завдає величезної шкоди суспільству, так ці кошти ще й витрачаються вкрай неефективно, оскільки результатів від витрачених коштів практично ніяких.

В той же час, втрати, що несе суспільство при роботі автомобільного транспорту, надзвичайно великі і при економічних підрахунках,

які б враховували ці втрати, доцільнішим було б вкладення коштів у розвиток залізничних систем перевезень.

Доцільно було б в Україні переглянути навчальні плани підготовки фахівців з метою підсилення в них питань сталого розвитку. Ті небезпеки і загрози, які очікують людство в разі ігнорування питань навколишнього середовища, вже стають не науковими прогнозами, а величезними втратами людських і матеріальних ресурсів.

Нажалі, громадськість в Україні ще недостатньо обізнана з питаннями екологічної небезпеки, які постають при подовженні існуючих моделей розвитку суспільства. Всі рішення і стратегії, які розробляються на вищих щаблях влади, повинні обов'язково проходити експертизу з позицій сталого розвитку. Необхідно розвивати серед громадськості і керівництва розуміння того, що, стаючи на шлях сталого розвитку, ми не втрачаємо економічних чинників, а, навпаки, забезпечуємо надійну середовище для майбутніх поколінь.

В Європі та багатьох інших країнах світу вже реалізовані системи економічно-екологічного обліку, які дозволяють отримати економічну оцінку екологічного впливу тих чи інших рішень. Такі системи дозволяють при порівнянні різних варіантів розвитку суспільства враховувати екологічну складову не на якісному, а на кількісному рівні в грошовому еквіваленті і відкривають очі суспільству на шкідливість і економічну неефективність деяких, начебто дешевих рішень. Це дозволяє знаходити і реалізовувати рішення, які не тільки вирішують нагальні питання, але й забезпечують економічний зиск у далекій перспективі.

В «Порядку денному на XXI сторіччя» суттєва увага приділяється захисту атмосфери, при цьому відзначається особлива роль транспорту у негативному впливі на стан атмосфери.

Якщо з втратами озонового шару людство загальними зусиллями якось бореться, то проблема зміни складу атмосфери і збільшення в ній вуглекислого газу стає все гострішою. Не вдалося ефективно реалізувати потенціал, який був закладений у Кіотському протоколі. Парниковий ефект стає все гострішою проблемою, яка призводить до глобального потепління.

Темпи змін в атмосфері за останні десятиріччя зростають з неймовірною швидкістю. Виглядає так, що людство хоче закінчити своє існування якомога швидше. Збільшення кількості CO₂ в атмосфері відбувається все більшими темпами. Це призводить до збільшення парнико-

вого ефекту і до глобального потепління. Кількість дуже небезпечних природних явищ останнім часом зростає дуже швидкими темпа-

ми [2], що призводить до великих збитків людства (рис. 1).



Рис. 1. Стихійні лиха в світі

Як бачимо з діаграми на протязі 2000...2006 років щорічно реєструвалося у чотири рази більше лих порівняно з 70-ми роками. А щорічна сума збитків зросла у сім разів. За деякими оцінками, в наступному десятиріччі щорічні збитки від стихійних лих можуть перевищити один трильйон доларів США. Це безумовно виправдовує витрати, які пов'язані з попередженням та зменшенням наслідків стихійних лих.

Вплив транспорту на погіршення стану атмосфери, безумовно, величезний. Робота транспортників, яка спрямована на зменшення викидів, ведеться, однак темпи зростання автомобілізації населення, як розвинутих, так і інших країн, не дозволяє сподіватися на покращення стану цієї проблеми. Як вказують європейські дослідження, втрати суспільства від збільшення викидів CO₂ за останні чотири роки перевищили втрати від аварій, які раніш були найбільшими.

Знов таки, ставка суспільства на громадські види транспорту, насамперед рейкові, є єдиним надійним шляхом зменшення впливу транспорту на атмосферу. Необхідно всіляко обмежувати рух автомобілів, особливо індивідуальних і вантажних, у великих містах. Тут заслуговує на позитивну оцінку робота міської ради міста Ки-

єва на обмеження стоянок у місті та обмеження і навіть заборону руху вантажівок містом.

Проблема землі для України є особливо актуальною, оскільки родючість нашої землі відома в усьому світі. Забудова і нераціональне використання родючої землі в Україні позбавляє наших нащадків цього дуже важливого для життя ресурсу.

Стосовно транспорту, проблема землі, що займається транспортними комунікаціями, повинна вирішуватись тільки на користь збереження землі. Дуже показовими є наступні числа. Для перевезення 60 тис. пасажирів в одному напрямку за годину необхідна полоса землі завширшки 200 м для легковиків, 80 м – для автобусів і 9 м – для рейкового транспорту.

В умовах дефіциту землі у великих містах і недопущення втрат родючої землі на всій території України однозначним є рішення на користь рейкових видів транспорту. І такі підходи повинні стати основою при вирішенні питань транспортного розвитку України.

Оскільки Карпатські гори є одночасно і легенями України, то бережливе відношення до цього регіону є важливим завданням. З позицій транспорту слід максимально обмежити рух автомобілів в цьому регіоні з розвитком залізни-

чної (вузькоколіїної чи з нормальною колією) інфраструктури в цьому регіоні.

Зовнішні витрати європейського транспорту з позицій сталого розвитку

Європейськими науковцями з Цюриху (INFRAS) та Карлсруе (IWW) було виконано дослідження INFRAS/IWW [3], яке було присвячено переведенню впливу транспорту з якісного в грошове вимірювання. Вперше результати цього дослідження були оприлюднені в 1995 р. Європейська екологічна агенція визнала це дослідження найкращим з аналогічних. Отримані дані мали дещо шокуючий характер і після знайомства з ними 80 % опитуваних погодилися, що треба всіляко обмежувати автомобільний рух і надавати перевагу громадським видам транспорту, насамперед рейковим.

Дослідники ввели поняття зовнішніх витрат для транспорту. Сутність їх полягає в тому, що той, хто обирає для поїздки той чи інший вид транспорту, сплачує тільки витрати на паливе та амортизацію транспортної одиниці. Негативний вплив транспортної одиниці під час такої поїздки на навколишнє середовище, витрати на

ліквідацію аварій та інші витрати суспільства при цьому сплачує все суспільство. Оці додаткові витрати, які лягають важким тягарем на все суспільство, і є зовнішніми витратами.

При розрахунках враховувались витрати суспільства, які пов'язані з аваріями на транспорті, впливом шуму на людей та будівлі, забрудненням повітря в результаті роботи транспорту, змінами клімату, до яких призводить робота транспорту, змінами ландшафту і впливом цього на флору та фауну, міськими ефектами, які пов'язані з ускладненням життя в містах, коли квартали розділені транспортними магістралями. Також враховувалося, що для нормального функціонування транспорту необхідна робота великої індустрії, яка, в свою чергу, також наносить збиток суспільству (так звані індустріальні ефекти).

Отримані значення витрат для 1995 р. [4] наведені на рис. 2. Загальні витрати п'ятнадцяти країн Євросоюзу на ліквідацію наслідків роботи транспорту в цьому році склали більш як 500 млрд євро, що склало майже 10 % внутрішнього валового продукту цих країн.

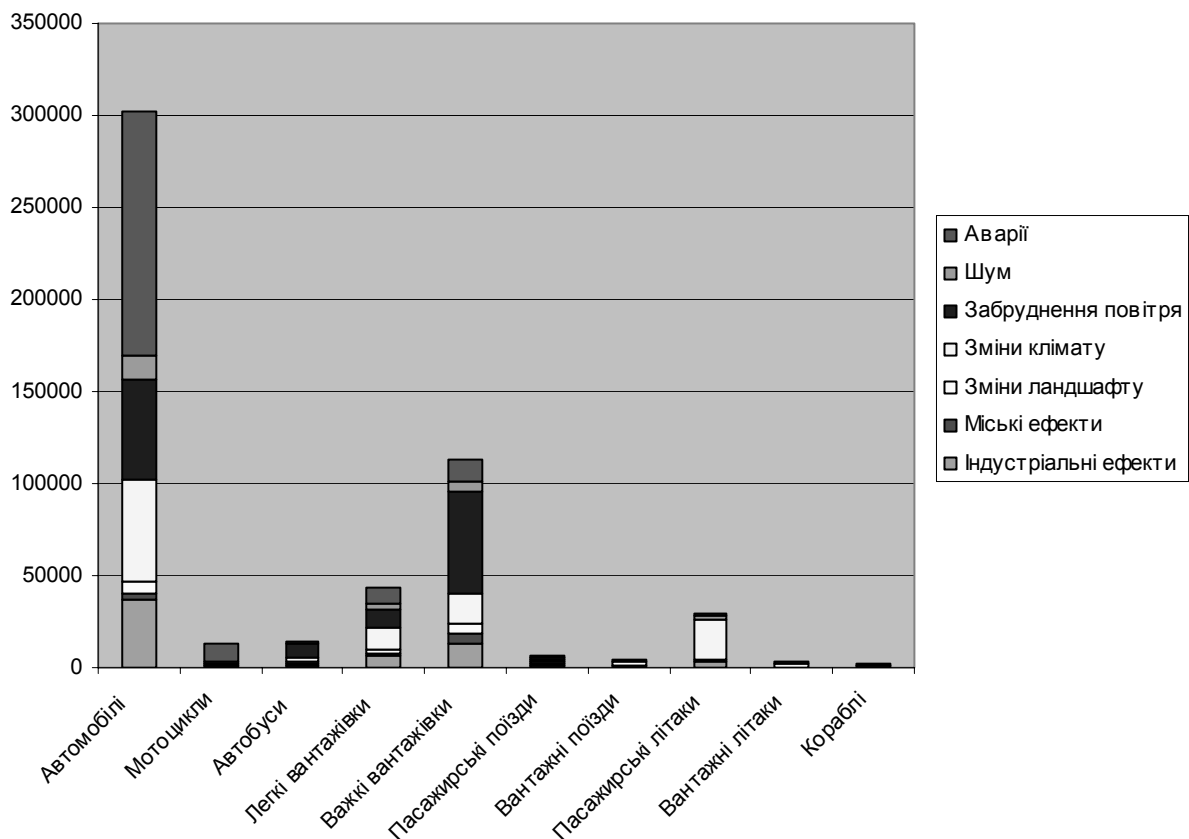


Рис. 2. Зовнішні витрати транспорту в країнах ЄС-15 в 1995 р., млн євро

Окрім загальних витрат дослідники підраховували питомі витрати для різних видів транспорту при пасажирських і вантажних перевезеннях. Як показали розрахунки, автомобільні перевезення мають в 4,5 рази вищі питомі витрати порівняно із залізничними.

У 2004 році був надрукований звіт INFRAS/IWW [5] стосовно даних на 2000 р. У звіті використовувалась дещо змінена методика і нова інформація. Відзначимо, що порівняно з 1995 р. зовнішні втрати суспільства від аварій змінилися з 29 % до 24 %, від забруднення повітря – з 25 % до 27 %, від змін клімату – з 23 % до 30 %, від індустріального впливу – з 11 % до 7 %. Загальні витрати склали

(за виключенням втрат від перевантаження) 650 млрд євро.

Якщо порівняти загальні втрати від різних видів транспорту за 1995 та 2000 рік (рис. 3), то можна побачити, що суттєво зросли витрати суспільства на вантажні перевезення автомобілями та літаками та пасажирські – поїздами та літаками. Дещо знизилися витрати на пасажирські перевезення автомобілями.

Збільшення витрат на пасажирські залізничні перевезення пов'язане, насамперед, із зростанням цих перевезень за рахунок автомобільних, крім того самі ці витрати відносно невеликі.

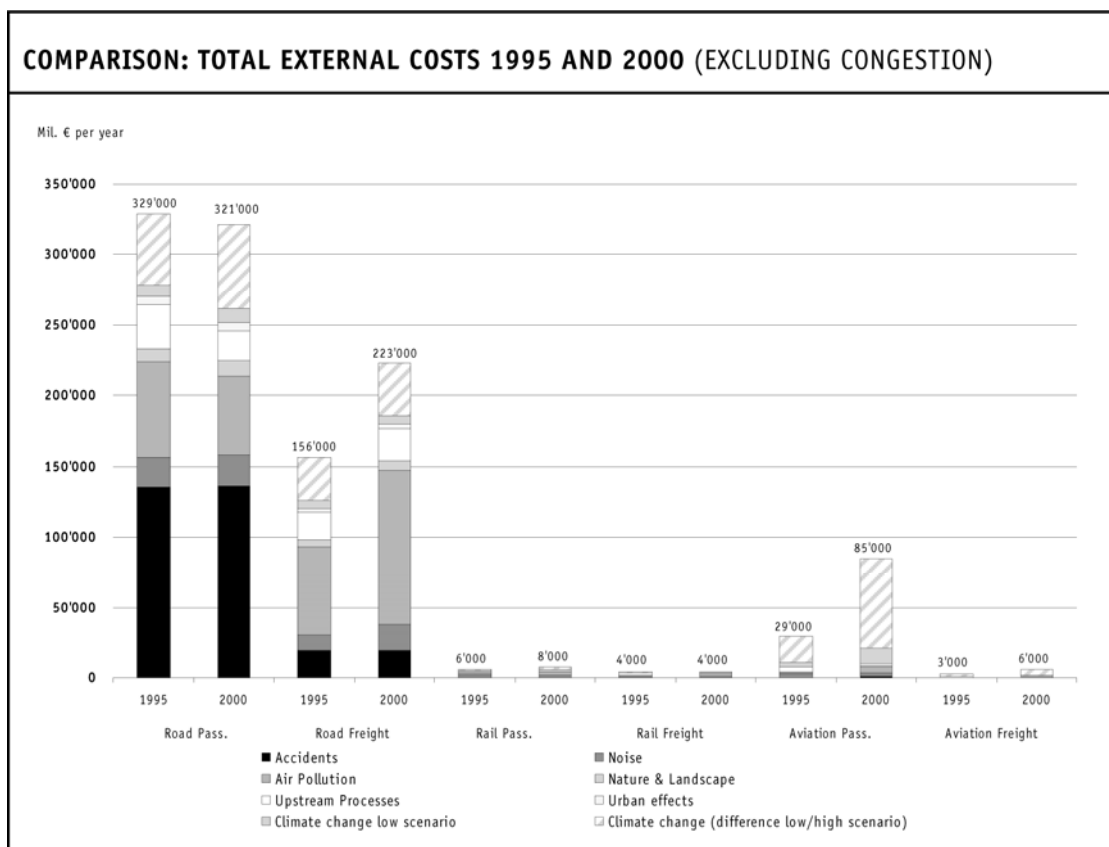


Рис. 3. Загальні зовнішні витрати країн ЄС-17 за 1995 та 2000 роки

Якщо розглянути питомі зовнішні витрати на пасажирські перевезення, то побачимо, що питомі витрати на автомобільні перевезення трохи впали, хоч і залишаються найбільшими. В той же час дещо зросли питомі витрати на залізничні та авіаційні перевезення. Зростання останніх насамперед пов'язане із забрудненням атмосфери та змінами клімату.

Таке ж порівняння для вантажних перевезень вказує на зниження питомих витрат для автомобільних та залізничних перевезень при суттєвому зростанні цих витрат для вантажних авіаційних перевезень. Це зростання знов таки

пов'язане зі зростанням витрат, які викликані забрудненням атмосфери та змінами клімату.

В якості прикладу використання методики INFRAS/IWW можна навести дослідження [6], в якому обиралася стратегія розвитку вантажного коридору Middlebury – Burlington у штаті Вермонт (США).

Доля залізничного транспорту в перевезеннях цим коридором складала 14 % чи 80,77 млн. т-міль на рік. Розглядалося збільшення долі залізничних перевезень цим коридором до 161,54, 242,31 та 323,08 млн т-міль на рік при

відповідному зменшенні автомобільних перевезень.

При початковому стані цього коридору загальна сума зовнішніх витрат залізничного та автомобільного транспорту складала трохи більше 61 млн доларів. При збільшенні долі залізничних перевезень ці витрати відповідно зменшуються до 56,6, 52,2, 47,8 млн доларів. Це дозволяє направити кошти, що вивільняються (4,4, 8,8 або 13,3 млн доларів) на розвиток залізничної мережі, що призведе до додаткового зниження зовнішніх витрат. При цьому ще й не враховувався ефект від зменшення викидів CO₂.

Такі підходи до розвитку транспорту в Україні дозволили б не тільки ефективно витрачати кошти, але й забезпечити принципи сталого розвитку і збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Повестка дня на XXI век [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/index.htm>.
2. Железные дороги мира в XXI веке [Текст] / под общ. ред. Г. Н. Кирпы. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 224 с.
3. INFRAS/IWW 1995: External effects of transport [Текст]. – Karlsruhe, Zurich, Paris: UIC, 1995.
4. INFRAS/IWW 2000: External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe [Текст]. – Zurich/Karlsruhe, 2000.
5. INFRAS/IWW 2004: External Costs of Transport: Update Study. Final Report [Текст]. – Zurich/Karlsruhe, 2004.
6. An Analysis of Externality Costs of Freight Transportation in Vermont [Текст] / M. Gleason et al. – Vermont Rail Advocacy Tenwork, Middlebury College. – 2005. – 19 p.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

ЩОДО ФАКТОРІВ УПРАВЛІННЯ ФІСКАЛЬНОЮ ПОЛІТИКОЮ У РЕГУЛЮВАННІ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Стаття присвячена теоретико-методичним проблемам дослідження факторів впливу державного регулювання процесів розподілу доходів. Аналізується ефективність державного регулювання макроекономічних процесів.

Статья посвящена теоретико-методическим проблемам исследования факторов влияния государственного регулирования процессов распределения доходов. Анализируется эффективность государственного регулирования макроэкономических процессов.

The article is devoted to the theoretical-and-methodical problems of research of factors of influencing the state regulation of the processes of distribution of profits. The efficiency of the state regulation of macroeconomic processes is analyzed.

Визначаючи те, що фінанси – це система економічних, грошових й інших видів виробничих відносин, виникає необхідність дослідження особливостей, пов'язаних із формуванням, розподілом та використанням різномірних форм коштів, як централізованих, так і децентралізованих, які виконують завдання економічного відтворення держави. Економічне обґрунтування технології бюджетного процесу та визначення проблем вітчизняної бюджетної практики повинно виявляти концептуальні спрямування наукового пізнання щодо факторів впливів на економічні параметри, глибину методологічних розрахунків, вагомість якісних та кількісних показників, їх питому вагу у сукупності впливів на стабільність стану економічної системи в цілому.

Обґрунтування факторів управління фінансовою політикою якраз і відіграє особливу роль у процесах, які визначають якість бюджету, прояв стабілізуючих дій економічної політики, досконалість, відповідальність та суб'єктивні впливи на проведення сталої політики відтворення.

Слід відмітити, що на сьогодні одним із основних джерел фінансових ресурсів у проведенні податкової політики є так звана фінансова політика. Ця політика має свої особливості проведення та виявляється через деякі форми й змістову обґрунтованість. Сама ж така фінансова політика має назву дискреційної фінансової політики. Разом з тим вона може бути стимулюючою й стримуючою.

Стимулююча дискреційна фінансова політика застосовується, в основному, у періоди спаду економіки та передбачає:

- збільшення державних витрат;

- зниження податків;

- сполучення зростання державних витрат із зниженням податків (з урахуванням того, що мультиплікаційний ефект збільшення державних витрат більше, ніж мультиплікаційний ефект зниження податків).

Проведення такого роду політики забезпечує скорочення падіння виробництва, що важливо, але за рахунок дефіцитного фінансування.

Застосування стримуючої дискреційної фінансової політики проводиться в умовах інфляційного зростання й припускає такі заходи державного впливу, як:

- зменшення державних витрат;
- збільшення податків;

- сполучення скорочення державних витрат із зростаючим оподаткуванням (з урахуванням того, що мультиплікаційний ефект зменшення державних витрат більше, ніж мультиплікаційний ефект зростання податків).

Така державна політика орієнтується вже на позитивне сальдо бюджету.

До того ж, механізм дискреційної фінансової політики досить простий. Але, оскільки у реальній економіці діють паралельні й різноспрямовані, а часом непередбачувані фактори, то вироблення оптимальної фінансової політики – завдання гранично складне.

Поряд із дискреційною фінансовою політикою важливу роль у регулюванні економіки відіграє так звана автоматична фінансова політика, або політика автоматичних (вбудованих) стабілізаторів.

Як свідчить світовий досвід, податки – це найбільш демократичний спосіб економічного регулювання, оскільки вони автоматично реагують на зміни економічного стану, виконуючи

при цьому важливу стабілізуючу роль в економічній діяльності, без необхідності прийняття будь-яких заходів з боку уряду. Наприклад, у разі «перегріву» кон'юнктури, відбувається підвищення обсягів національного доходу. При наявності ж прогресивно побудованої шкали оподаткування, розміри виплат до бюджету зростають, що стримує економічну активність. Крім того, обсяги державного бюджету, які збільшаються, дозволяють, за допомогою проведення соціальної політики, підняти рівень споживання малозабезпечених прошарків населення, й тим самим збільшити сукупний попит, зближуючи його із зростаючою сукупною пропозицією.

В умовах погіршення кон'юнктури, відбуваються зворотні дії – податкові надходження автоматично скорочуються, сума вилучення доходів зменшується, тобто відбувається поступове збільшення купівельної спроможності в цілому в економіці, що стримує економічний спад.

Але для того, щоб спрацював такий механізм, необхідним видається й відповідна оперативна реакція податкової системи на кон'юнктуру, що можливо відобразити через показник еластичності податкових надходжень.

Такий показник розраховується, як відношення процентних (або абсолютних) змін податкових надходжень до процентних (або абсолютних) змін національного доходу. Наприклад, в економіці ФРН ступінь податкового реагування складає 1,5. Це означає, що підвищення, або зниження національного доходу на 1 % обумовлює зростання або скорочення сум надходжень від податків у 1,5 %.

Найбільшою еластичністю, відповідно, й самою високою значимістю в регулюванні оподаткування володіє прибутковий податок, завдяки своїй прогресивній шкалі. Трохи слабкіше ці властивості виявляються в податку на прибуток, оскільки його шкала має слабку прогресію. Еластичність податку з обороту відмічається середнього рівня. Податок на майно має низьку еластичність, оскільки його база не пов'язана із кон'юнктурними коливаннями, отже шкала пропорційна, а рівень обкладання низький.

Можливо зробити узагальнення того, що ступінь реакції усієї податкової системи на кон'юнктуру залежить від того, яку питому вагу в ній займають окремі види податків. Вважається, що ефективною кон'юнктурно-стабілізуючою дією система володіє тоді, коли рівень її еластичності дорівнює одиниці. Це відбувається, якщо в податковій системі достатньо високе значення прибуткового податку й податку на прибуток. Ось чому в розвинених країнах серцевину податкової системи складають податки на доходи, прибуток та оборот. Вони є найбільш ефективними вбудованими стабілізаторами. Слід також відмітити, що до автоматичних стабілізаторів відносяться й система допомоги з безробіття, різні соціальні виплати, програми щодо підтримки незаможних прошарків населення і т.ін., які перешкоджають різкому скороченню сукупного попиту навіть у періоди економічного спаду. В періоди підйому та скорочення безробіття виплата різних видів грошових допомог або припиняється, або зменшується, що, відповідно, стримує сукупний попит.

Політика автоматичних (вбудованих) стабілізаторів та дискреційна політика, які разом складають загальну фіскальну політику, активно використовуються розвиненими країнами для ефективного регулювання макроекономічних процесів, що слід відмітити, як важливі фактори управління й регулювання процесів продуктивної економічної політики.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Базилевич, В. Д. Державні фінанси [Текст]: навч. посібник / В. Д. Базилевич, Л. О. Баластрик; за заг. ред. В. Д. Базилевича. – К.: АТІКА, 2002. – 368 с.
2. Василик, О. Д. Теорія фінансів [Текст] / О. Д. Василик. – К.: Основи, 2002. – 547 с.
3. Власюк, В. Є. Важелі управлінських впливів на проведення фінансово-кредитної політики [Текст]: монографія / В. Є. Власюк. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – 268 с.
4. Мельничук, С. І. Державному бюджету – економічне обґрунтування [Текст] / С. І. Мельничук // Фінанси України. – 1999. – № 11 (99). – С. 12-23.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

ОЦІНКА ПОРІВНЯЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ З РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ МІСЦЬ

У роботі визначений критерій економічної ефективності, який дозволяє порівнювати пасажирські вагони з різною кількістю місць для пасажирів з точки зору залізниць, у ринкових умовах, виходячи з маркетингових принципів управління. Виявлені основні фактори, що впливають на ефективність пасажирських вагонів. Розроблені методи визначення показників ефективності, що враховують ці фактори.

В работе определен критерий экономической эффективности, который позволяет сравнивать пассажирские вагоны с разным количеством мест для пассажиров с точки зрения железных дорог, в рыночных условиях, исходя из маркетинговых принципов управления. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность пассажирских вагонов. Разработаны методы определения показателей эффективности, учитывающие эти факторы.

The article defines the criterion of economic efficiency which allows comparing the coaches with different quantity of passenger places from the viewpoint of railways, in market conditions, from marketing principles of management. The major factors influencing on efficiency of coaches are revealed. The methods to define indicators of the efficiency taking into account these factors are developed.

I. Вступ

Сучасний стан залізничного транспорту України характеризується значним зносом виробничих основних засобів, що суттєво перевищує межі економічної безпеки. У першу чергу, це стосується рухомого складу. Так, за оцінками, що відображені у Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.10.2006 р. № 651-р, знос рухомого складу досягає 68 %. Значна кількість вагонів та локомотивів потребує проведення капітально-відновлювального ремонту, модернізації та інших заходів, спрямованих на продовження терміну їх експлуатації або виключення з інвентарного парку. При цьому з 2000 року має місце стійка тенденція підвищення обсягів як вантажних, так і пасажирських перевезень.

Не викликає сумніву, що сьогодні однією з першочергових задач залізничного транспорту є оновлення рухомого складу, без чого у близькому майбутньому галузь неспроможна буде задовольняти зростаючі потреби економіки країни та населення у перевезеннях.

Суттєву роль у процесі оновлення рухомого складу відіграватиме придбання нових одиниць техніки. При цьому, як правило, перед залізницями постає задача вибору найбільш привабливих моделей рухомого складу із декількох альтернативних варіантів. Очевидно, що такий вибір повинен ґрунтуватись не лише на ціні одиниці техніки, але й враховувати її

продуктивність, інші споживчі якості, витрати, пов'язані з експлуатацією, утриманням, ремонтами та інші фактори. Сучасна теорія інвестування передбачає вирішення таких задач за допомогою показників порівняльної економічної ефективності.

II. Постановка задачі

Метою роботи є розробка методу визначення порівняльної економічної ефективності пасажирських вагонів в умовах ринкової економіки.

Вказана мета досягається вирішенням таких задач:

- визначення критерію ефективності та показника, який його відображає;
- визначення принципових умов порівняння вагонів з різною кількістю пасажирських місць;
- виявлення основних факторів, що впливають на ефективність вагонів;
- розробка методів оцінки впливу факторів на порівняльну ефективність вагонів.

III. Результати дослідження

Під економічною ефективністю інвестицій розуміють співвідношення результатів інвестування і витрат на їхнє одержання. У залежності від мети використання показники економічної ефективності підрозділяються на показники загальної (абсолютної) і порівняльної (відносної) ефективності. Показники загальної ефек-

тивності використовуються для виявлення доцільності інвестування, а порівняльної – для визначення найбільш ефективного варіанта інвестування з декількох можливих. Тому показники загальної ефективності враховують усі результати і витрати інвестиційного проекту, а порівняльної – тільки результати і витрати, що відрізняються по варіантах інвестування.

Показники комерційної ефективності враховують фінансові наслідки реалізації інвестиційних проектів для їхніх безпосередніх учасників. Комерційна ефективність може розраховуватися як для проекту в цілому, так і для окремих учасників.

Вибір найбільш ефективних одиниць техніки з точки зору інвестора доцільно проводити за критерієм порівняльної комерційної ефективності.

У сучасній теорії інвестування застосовуються показники ефективності, що враховують альтернативні можливості інвестування капіталу (фактор часу), що досягається шляхом дисконтування (або компаундування) грошових потоків інвестиційного проекту, що виникають у різні моменти часу. При цьому результати і витрати визначаються за весь життєвий цикл інвестицій.

Під дисконтуванням розуміється операція приведення майбутньої вартості грошової суми до її поточної вартості.

Під майбутньою вартістю розуміють величину капіталу, що може бути накопичена в майбутньому через заданий інтервал часу у результаті інвестування деякої величини капіталу в сучасний момент часу із заданою нормою доходу на капітал, з урахуванням реінвестування одержуваних доходів.

Під поточною вартістю розуміють величину капіталу, яку необхідно інвестувати в сучасний момент часу з визначеною нормою доходу на капітал, щоб через заданий часовий інтервал забезпечити нагромадження деякої суми капіталу, що відповідає майбутній вартості.

Оцінка ефективності інвестицій базується на зіставленні очікуваного зворотного грошового потоку з величиною інвестованого капіталу. Результатом прогнозування грошових потоків, зв'язаних з інвестиціями, є їх майбутні вартості. Для забезпечення їхньої порівняльності визначаються відповідні їм поточні вартості. Сумарна величина зазначених поточних вартостей показує величину капіталу, яку необхідно інвестувати в деякий альтернативний варіант для одержання очікуваного зворотного грошового

поток¹. При цьому норма доходу, що забезпечує альтернативний варіант інвестування, використовується як норма доходу для дисконтування (норма дисконту). Якщо величина інвестицій, ефективність яких оцінюється, менше або дорівнює сумарній поточній вартості зворотних грошових потоків, то норма доходу, одержання якої забезпечують оцінювані інвестиції, перевищує (або дорівнює) норму доходу альтернативних інвестицій. На цій основі можна робити висновки щодо ефективності інвестицій.

Прибутковість альтернативних варіантів інвестування характеризується показником норми дисконту, під якою розуміють мінімально прийнятну для інвестора норму доходу, при якій він згодний інвестувати капітал. Норма дисконту відповідає вартості капіталу, що інвестується.

У залежності від способу зіставлення результатів з витрат виділяють чотири основних показники загальної економічної ефективності інвестицій.

1. Чистий дисконтний доход (чиста поточна вартість, Net Present Value). Являє собою різницю між поточною вартістю зворотних грошових потоків і поточною вартістю інвестицій. Критерієм ефективності є позитивна величина показника. Характеризує не тільки ефективність, але й абсолютну величину ефекту, відбиваючи приріст капіталу інвестора за рахунок інвестування. Тому при виборі з декількох варіантів інвестування перевага, як правило, віддається варіанту з найбільшому рівнем чистого дисконтного доходу (ЧДД).

2. Внутрішня норма доходу. Є нормою дисконту, при якій поточна вартість зворотного грошового потоку дорівнює поточній вартості інвестицій. Тобто, показує норму доходу, одержання якої забезпечують інвестиції, що розглядаються. Критерієм ефективності інвестицій є перевищення (чи рівність) внутрішньої норми доходу над нормою дисконту.

3. Індекс прибутковості – це відношення поточної вартості зворотних грошових потоків і поточної вартості інвестицій. Критерієм ефективності є перевищення (чи рівність) одиниці.

4. Динамічний строк окупності – це період часу, за який накопичений чистий дисконтний доход інвестицій стає і далі залишається позитивним. Критерієм ефективності є співвідношення, коли строк окупності менше або дорівнює тривалості життєвого циклу інвестицій

¹ Зворотний грошовий потік включає доход на капітал і повернення інвестованого капіталу.

(тобто, періоду часу, у якому надходить зворотний грошовий потік).

Показники порівняльної ефективності є похідними від показників загальної ефективності і зіставляють додаткові результати з величиною додаткових інвестицій.

Виділяють два основних показники порівняльної ефективності:

1. Чистий дисконтний доход додаткових інвестицій. Є різницею між поточною вартістю приросту зворотного грошового потоку і поточною вартістю додаткових інвестицій, що забезпечують цей приріст. Критерій ефективності – найбільша позитивна величина.

2. Модифіковані приведені витрати. Використовується, коли варіанти відрізняються тільки витратами, а доходи за варіантами рівні. Визначається як поточна вартість операційних і інвестиційних витрат. Враховує тільки ті складові витрат, що відрізняються за варіантами. Критерій ефективності – найменше значення показника.

У даній роботі основним показником ефективності є чистий дисконтний доход додаткових інвестицій.

У випадку визначення комерційної ефективності чистий дисконтний доход інвестицій визначається за формулою:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \frac{(D_t - B_t) \cdot (1 - H_m) + A_t \cdot H_m}{(1 + E)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

де ЧДД – чистий дисконтний доход;

T – тривалість життєвого циклу інвестицій;

D_t – операційні доходи в році t ;

B_t – операційні витрати без амортизаційних відрахувань у році t ;

H_m – норма податку на прибуток, у частках (0,25);

A_t – амортизаційні відрахування, визначені за методами і ставками податкового обліку, у році t ;

E – норма дисконту;

I_t – інвестиції в році t^2 .

Розглядається ефективність інвестицій у придбання вагона в порівнянні з аналогічним вагоном. Чистий дисконтний доход додаткових

інвестицій ($\Delta\text{ЧДД}$) враховує різницю в доходах, витратах і інвестиціях за життєвий цикл вагонів. Тоді чиста поточна вартість додаткових інвестицій визначається за формулою:

$$\Delta\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \frac{(\Delta D_t + \Delta_e B_t) \cdot (1 - H_m) + \Delta A_t \cdot H_m}{(1 + E)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{\Delta I_t}{(1 + E)^t}, \quad (2)$$

де знак Δ означає різницю між величинами відповідного показника для вагона, що розглядається, і для вагона-аналога (приріст показника). Знак Δ_e характеризує економію відповідних витрат, тобто приріст витрат, узятий зі зворотним знаком.

Якщо $\Delta\text{ЧДД} \geq 0$, то ефективність інвестицій у придбання вагона, що розглядається, вища, ніж у вагона-аналога. І, якщо $\Delta\text{ЧДД} < 0$, то інвестиції у вагон-аналог ефективніші.

Можливі два принципові способи визначення зазначеного показника. Перший відповідає передумові, що за сценаріями використовується однакова кількість одиниць рухомого складу різних моделей (наприклад, розрахунок на один пасажирський вагон). Другий передбачає, що різною кількістю одиниць рухомого складу за сценаріями виконується рівний обсяг перевезень у порівнянних умовах. Більш доцільним є застосування другого підходу. Для забезпечення порівнянності розрахунок показників доходів і витрат доцільно виконувати, виходячи з умови рівних обсягів перевезень пасажирів, які виконуються з використанням вагона, що досліджується, і вагона-аналога. Досягти цього можна, визначаючи та порівнюючи не абсолютні значення витрат, а їх питомі величини, що припадають на одне пасажирське місце у вагоні. У цьому випадку доходи від перевезень є однаковими, тобто $\Delta D_t = 0$.

Доцільність вихідної умови про рівність пасажиропотоків, а не парку вагонів, впливає з маркетингового принципу управління, що передбачає прагнення підприємства до повного задоволення попиту на його продукцію. Тобто парк вагонів повинен визначатися попитом на перевезення, а не навпаки.

Економія операційних (експлуатаційних) витрат включає наступні складові:

- вартість електроенергії на тягу потягів;
- на екіпірування вагонів;
- на технічне обслуговування вагонів;

² Нульовий рік відповідає початку першого року прогнозу.

- по періодичних ремонтах;
 - по оплаті праці провідників і відрахуваннях на соціальні заходи;
 - по утриманню і ремонту мережної інфраструктури (колія, контактна мережа тощо).
- Інші експлуатаційні витрати рівні за варіантами, у зв'язку з чим у розрахунку не враховуються.

Економія витрат на електроенергію на тягу потягів визначається за формулі:

$$\Delta_e B_{el} = \left(\frac{\sum PL_{\text{бр.0}}}{H_0} \cdot \gamma_0 - \frac{\sum PL_{\text{бр.1}}}{H_1} \cdot \gamma_1 \right) \times \Pi_{el} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де $\Delta_e B_{el}$ – економія витрат на електроенергію на тягу потягів у розрахунку на одне місце для пасажирів за рік, грн;

$\sum PL_{\text{бр.0}}$ – розрахункові річні тонно-кілометри брутто вагона-аналога, тис. т-км брутто;

$\sum PL_{\text{бр.1}}$ – розрахункові річні тонно-кілометри брутто вагона, ефективність інвестицій у придбання якого досліджується, тис. т-км брутто;

γ_0 – норма витрати електроенергії для потяга з вагонів-аналогів, кВт-год/10000 т-км брутто;

γ_1 – норма витрати електроенергії для потяга з досліджуваних вагонів, кВт-год/10000 т-км брутто;

H_0 – кількість місць для пасажирів вагона-аналога;

H_1 – кількість місць для пасажирів вагона, що досліджується;

Π_{el} – ціна електроенергії на тягу поїздів, коп./кВт-год.

Норми витрат встановлюються на основі тягових розрахунків для типових умов експлуатації вагонів. При цьому кількість вагонів у складі поїзда доцільно приймати такою, щоб різниця у кількості пасажирських місць у поїздах з вагонів, що досліджуються, та вагонів-аналогів була мінімальною.

Економія витрат з екіпірування вагонів визначається за формулою:

$$\Delta_e B_{ek} = \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{H_1} \right) \cdot \frac{B_{ek}}{O_e} \cdot 365, \quad (4)$$

де $\Delta_e B_{ek}$ – економія витрат з екіпірування вагонів на рік у розрахунку на одне місце для пасажирів, грн;

O_e – оборот вагона, діб;

B_{ek} – середні витрати на екіпірування одного вагона в прямий та зворотний рейси, грн.

Економія витрат по технічному обслуговуванню визначається в частині ТО-3 за формулою:

$$\Delta_e B_{TO} = \left(\frac{K_{TO.0}}{H_0} - \frac{K_{TO.1}}{H_1} \right) \cdot B_{TO}, \quad (5)$$

де $\Delta_e B_{TO}$ – економія витрат на технічне обслуговування вагонів за рік у розрахунку на одне пасажирське місце, грн;

$K_{TO.0}$ – кількість ТО-3 у рік для вагонів-аналогів, разів;

$K_{TO.1}$ – кількість ТО-3 у рік для досліджуваних вагонів, разів;

B_{TO} – витрати на одне технічне обслуговування ТО-3, грн.

Економія витрат з планових ремонтів буде відрізнятися за роками життєвого циклу вагонів. Для кожного року визначається за формулою:

$$\Delta_e B_{PP} = \frac{B_{PP.0}}{H_0} - \frac{B_{PP.1}}{H_1}, \quad (6)$$

де $\Delta_e B_{PP}$ – економія витрат з планових ремонтів (ДР, КР-1, КР-2) на одне пасажирське місце, грн;

$B_{PP.0}$ – вартість планових ремонтів у відповідному році для одного вагона-аналога, грн;

$B_{PP.1}$ – вартість планових ремонтів у відповідному році для одного досліджуваного вагона, грн.

Економія витрат, зв'язаних з оплатою праці провідників, визначається за формулою:

$$\Delta_e B_{on} = \left(\frac{\Pi_0}{H_0} - \frac{\Pi_1}{H_1} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot L}{V} + t_{np} \right) \cdot \frac{365}{O_e} \times \times 3_e \cdot (1 + H_{coq}), \quad (7)$$

де $\Delta_e B_{on}$ – економія витрат з оплати праці провідників і відрахувань на соціальні заходи, грн;

- P_0 – кількість провідників на вагон-аналог;
 P_1 – кількість провідників на вагон, що досліджується;
 L – довжина маршруту, км;
 V – середня технічна швидкість руху потяга, км/год;
 t_{np} – частина часу простою на станціях і в пунктах обороту поїзда за один оборот, що є робочим часом провідників, годин;
 $З_2$ – середня заробітна плата провідників у розрахунку на 1 годину роботи, грн;
 $H_{соц}$ – норма відрахувань на соціальні заходи, частка.

Економія витрат з утримання і ремонту мережної інфраструктури визначається за формулою:

$$\Delta_e B_{in} = \left(\frac{\sum PL_{\bar{op}.0}}{H_0} - \frac{\sum PL_{\bar{op}.1}}{H_1} \right) \cdot e_{т-км}, \quad (8)$$

де $\Delta_e B_{in}$ – економія витрат по утриманню і ремонту залізничної колії і контактної мережі, грн;

$e_{т-км}$ – одинична видаткова ставка на 1000 т-км брутто, грн.

Амортизаційні відрахування визначаються від залишкової вартості вагонів за методами і ставками податкового обліку.

Інвестиційні витрати включають витрати на придбання вагонів і витрати на їхній капітальний ремонт із продовженням терміну служби (КРП), якщо він передбачається, у розрахунку на одне пасажирське місце.

IV. Висновки

Виконане дослідження дозволяє зробити такі висновки:

Раціональний вибір пасажирських вагонів з декількох можливих варіантів з точки зору користувача (залізниць) доцільно визначати за критерієм комерційної порівняльної економічної ефективності за показником чистого дисконтного доходу додаткових інвестицій.

Для забезпечення порівняльності варіантів грошові потоки слід визначати у розрахунку на одне пасажирське місце. Це відповідає умові рівних обсягів перевезень за варіантами.

Основними факторами, що впливають на ефективність пасажирських вагонів є: маса брутто вагона, що припадає на одне пасажирське місце; питомий опір руху; питомі витрати на одне місце з екіпіровки, технічного обслуговування та ремонту вагонів; міжремонтні строки та пробіги; питома кількість провідників на одне пасажирське місце; вартість вагона у розрахунку на одне пасажирське місце; призначений термін корисного використання.

Врахування впливу названих факторів на ефективність вагону досягається за рахунок визначення відмінності у інвестиційних та експлуатаційних витратах, пов'язаних в вагоном, що досліджується, та вагоном-аналогом для кожного року з періоду життєвого циклу та їх зведення у єдиний показник за допомогою дисконтування.

Надійшла до редколегії 23.06.2008.

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДЕРЖАВНОЇ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Розкриті теоретичні підходи до розробки стратегії державного регулювання залізничного транспорту України.

Раскрыты теоретические подходы к разработке стратегии государственного регулирования железнодорожного транспорта Украины.

The theoretical approaches to development of strategy of the state regulation of railway transport of Ukraine are exposed.

Стратегія розвитку базової галузі економіки формується під кутом зору пріоритетів, які визначаються соціально-економічним значенням її у забезпеченні геостратегічного положення держави. В умовах, коли ще досі не викладені механізми реформування залізничного транспорту, які мають ґрунтуватися на технологічному прориві завдяки науково-технічному прогресу.

У сучасній економічній літературі існує низка підходів, що присвячена розробці стратегії розвитку підприємства та галузі. Вони відтіняють дворівневе бачення проблеми. З одного боку, це ринкові механізми, що передбачають ситуацію, коли «ринок має поставити все на свої місця», з іншого – вплив держави, яка є ініціатором розробки і реалізації стратегії, що безпосередньо визначає транспортну політику як галузі, так і держави в цілому.

Удосконалення економічного механізму стратегії розвитку залізничного транспорту передбачає стрімке зростання його на ринку транспортного обслуговування. Принципово важливим є питання взаємодії ринкових механізмів і державного регулювання природної монополії. Причому останнє вбачається найбільш важливим з метою виведення галузі залізничних перевезень із збитковості. Не дивлячись на те, що об'єктивно галузь стикається з наявністю різноманітних форм власності, монопольне становище держави у визначенні пріоритетів розвитку залишається визначальним.

Держава завжди виконувала визначені економічні функції. Вона законодавчо уклала загальні «правила гри», тобто систему нормативних актів, що регулюють діяльність суб'єктів ринку, у тому числі таких інститутів, як комерційні банки, біржі, акціонерні товари-

ства. Держава збирала податки, за рахунок яких не лише утримувала чиновників, але й фінансувала закупівлю зброї та спорядження у приватних компаній. У ряді країн державі належали залізниці і так звані «казенні» заводи.

Проте, в цілому економічна роль держави ще на початку XX століття була максимальною, народне господарство залишалось майже виключно сферою приватного бізнесу [1, с. 69].

Як відомо, ситуація дещо змінилась у період першої світової війни, коли спочатку в Німеччині, а потім і у країнах Антанти держава стала активно втручатись до господарчого життя з метою мобілізації обмежених ресурсів задля досягнення військової перемоги. Зазначені заходи, проте, носили надзвичайний характер і тому із закінченням війни державне втручання до господарчого життя максимально зменшилось [1, с. 69].

До початку 30-х років серед західних економістів домінувала думка про те, що економічні спади (кризи) пояснюються випадковими причинами, що механізм ринкової саморегуляції забезпечує відповідність між сукупним попитом та сукупною пропозицією, тобто автоматичний вихід економіки із кризи, наступне її зростання на базі оновлення основного капіталу та ліквідації нерентабельних підприємств. Відповідно до цього робився висновок про небажаність і навіть шкоду державного втручання до економічного життя.

Проте, глибока криза та затяжна депресія 30-х років перекреслили зазначену теорію. Стало очевидним те, що механізм ринкового саморегулювання не впорається зі своїми функціями, не забезпечує автоматичного виходу із кризи. Саме це визначило необхідність переходу до активного державного регулювання еконо-

міки. Зазначене регулювання на практиці стало здійснюватись в США з 1933 р. командою Ф. Д. Рузвельта. Теорія державного регулювання ринкової економіки була, як відомо, запропонована Дж. М. Кейнсом. Кейнс зробив висновки про те, що вихід із глибокої кризи, зростання обсягів виробництва і рівня зайнятості неможливі без активної участі держави, яка має не тільки стимулювати зниження облікової норми комерційних банків (відсотки), але і здійснювати масштабні державні закупівлі з метою збільшення сукупного платоспроможного попиту. Крім того, держава має виплачувати соціальні допомоги безробітним, пристарілим та іншим непрацездатним членам суспільства з метою недопущення соціального вибуху [1, с. 70]. Таким чином, можливо зробити наступний висновок – ринковий механізм має бути доповнений механізмом прямого державного регулювання економіки. Зазначене пояснює доцільність наступного тандему: ринковий механізм та механізм державного регулювання за умов провідної ролі останнього має регулювати сучасну ринкову економіку, у тому числі галузь залізничного транспорту.

Викладені вище теоретичні підходи спонукають зробити висновок про доцільність саме державного регулювання розвитку базової галузі економіки – залізничного транспорту.

Як відомо, в сучасних умовах значно зростає необхідність більш активної участі держави у розробці і реалізації цілей і задач, які мають бути направлені на подолання негативних тенденцій у базовій галузі – залізничному транспорті. Слід також зазначити те, що переважна частина економічних рішень переходить до компетенції самих господарських суб'єктів, які визначають структурні зрушення на мікрорівні.

Державне регулювання у транспортній галузі в умовах ринкових відносин має переслідувати довгострокові перспективні цілі. Останні мають бути обов'язково прозорими і досяжними, не дивлячись на обставини, коли політичні амбіції окремих керівників негативно впливають на їх практичне втілення.

Одним із основних векторів розвитку галузі є прискорення науково-технічного прогресу та структурна перебудова усього залізничного транспорту, підвищення темпів економічного зростання та створення найбільш сприятливих умов для ринкової конкуренції між окремими структурними його підрозділами.

Не менш важливим напрямком стратегії залізничного транспорту виступає задача завоювання транспортним комплексом нових по-

зицій на європейському і світовому ринках. Зазначене є необхідною передумовою позитивного позиціонування галузі залізничних перевезень в умовах інтеграції України до СОТ.

Досить гостро для галузі залізничних перевезень стоїть питання уніфікації перевізного процесу та значного підвищення якості надання послуг споживачам транспортного ринку. Таким чином, йдеться про актуальну проблему забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту в межах його позиціонування не лише на геостратегічному просторі України. Безумовно, бажану конкурентоспроможність можливо отримати лише за рахунок технологічного прориву галузі залізничних перевезень.

Очікувані позитивні результати унеможливорює сучасний вкрай низький якісний стан основних виробничих фондів галузі та її інфраструктури, що є наслідком невиваженої економічної політики держави, галузі та їх керівних і управлінських структур.

Оптимальна господарська модель розвинутої держави ґрунтується на ринковій економіці соціально-орієнтованого характеру. Стабільність галузі та передбачуваність її функціонування, створення стимулів до зростання перевізного процесу, підвищення завантаження транспортних одиниць та інфраструктури, відновлення транспортних економічних зв'язків із сусідніми країнами мають створити комфортні умови для повернення залізничній галузі довіри власного і зарубіжного бізнесу.

Соціально-економічна стратегія розвитку залізничного транспорту визначається його статусом, як однієї із базових галузей економіки. Адже стабільне та ефективне функціонування залізничного транспорту є необхідною умовою для забезпечення обороноздатності, національної безпеки і цілісності держави [2, с. 60].

Соціально-економічна стратегія розвитку залізничного транспорту має забезпечити науково-технічний прорив галузі до рівня світових стандартів за стислий термін часу. Проте, стан виробничо-технічної бази залізниць, як зазначалося вище, та технічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідають зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, що вже сьогодні є перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку держави.

До негативних факторів, що стримують реалізацію соціально-економічної стратегії галузі,

слід віднести обвальне старіння основних виробничих фондів галузі, насамперед, активної їх частини; несвочасність проведення ремонтно-профілактичних робіт шляхів сполучення та інфраструктури галузі, зростання випадків відмов обладнання, що несе загрозу безпеці руху та відсутність запобігання техногенних та форс-мажорних обставин. Зазначене також знижує можливість конкурентного позиціонування залізничного транспорту.

Надзвичайно складним є питання тарифної політики залізничних перевезень. Нажаль, спроби штучного маніпулювання тарифами на вантажні перевезення призводять до неочікуваного негативного ефекту.

Проблемою в організації перевезень залишається хронічна збитковість соціально значущих пасажирських і приміських перевезень.

Соціально-економічна стратегія розвитку залізничного транспорту, безумовно, має орієнтуватися на сучасних досягненнях, що має рейковий транспорт в Європі, США та Японії. Стимулюючими обставинами його розвитку мають бути дальні прискорені вантажні перевезення міжнародними і світовими транспортними коридорами; високоякісний пасажирський сервіс у спеціалізованих коридорах зі швидкісним і високошвидкісним рухом потягів; регіональний транспорт, що концентрується навколо міст та збільшує ймовірність термінової та своєчасної доставки сировини, палива, комплектації безпосередньо до цеху підприємства.

Таким чином, сьогодні доцільною вбачається стратегія науково-технічного прориву галузі залізничних перевезень, яка має передумови комерціалізації з відповідними принципами самофінансування, самостійного прийняття рішень щодо ціноутворення, самостійного визначення рівня транспортних послуг, розробки та впровадження власних інвестиційних програм на комерційних основах.

Комерціалізація, що є орієнтиром підвищення загальної економічної ефективності галузі, має забезпечити наступне:

- зростання функцій управління;
- надання залізниці можливості функціонування як комерційному підприємству, що орієнтоване на ринкові умови;
- зростання конкуренції між окремими видами транспорту та в межах галузі;
- отримання більш достовірної управлінської інформації та оцінки на основі розподілу відповідальності за фінансові результати;

- підсилення ролі приватного сектору на залізницях;
- скорочення дефіциту бюджету залізниць та мінімізація державних дотацій;
- стимулювання соціально значущих об'єктів галузі [3, с. 16-17].

Безумовно, вирішення зазначених макроекономічних проблем стане можливим лише за умов впровадження інноваційних проектів та науково обгрунтованої інвестиційної політики держави. Як відомо, ринок є нейтральним щодо довгострокових проектів, таких як будівництво нових колій та їх використання для швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху, реанімація в Україні діяльності міжнародних транспортних коридорів, уніфікація перевізного процесу при перетинанні кордонів зі зміною ширини колії, повна заміна інфраструктурної складової залізничного транспорту, діяльність галузі під кутом зору оптимізації логістичного процесу тощо. У цих питаннях саме держава має виступити гарантом збереження конкурентоспроможності галузі на основі селективного підходу, оцінки пріоритетності, ефективності або збитковості тієї чи іншої діяльності. Держава повинна забезпечити вигоди національному перевізнику, а не іноземному, який має незабаром з'явитися на ринку залізничного транспорту України.

Державні структури і, перш за все, уряд повинні звернути увагу на галузеву науку і освіту. Термінового вирішення потребують питання уніфікації законодавчої бази та побудови ефективної податкової політики. Доцільно державі дещо повернутися до практики розробки перспективних планів і прогнозів розвитку залізничного транспорту на якісно новому рівні. Зазначені плани мають за мету забезпечити критерії економічної безпеки галузі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Волинский, Г. Государственное регулирование рыночной экономики [Текст] / Г. Волинский // Экономика Украины. – 2003. – № 6. – С. 69-76.
2. Дейнека, О. Г. Научно-технический прогресс и его влияние на изменения в международном транспортном процессе [Текст] / О. Г. Дейнека, Л. О. Позднякова // Вісник нац. ун-ту «Львівська політехніка». – № 579. – С. 59-62.
3. Удосконалення організаційно-управлінської роботи на підприємствах залізничного транспорту [Текст]: навч. посібник / Г. Ф. Арбузов та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 178 с.

Надійшла до редколегії 23.06.2008.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА УКРАИНЫ

Розвиток транзиту, логістики і контейнеризації характеризує стан сучасної національної транспортної системи. Причому розвиток одного з напрямів, наприклад транзиту, послужив поштовхом до розширення процесу контейнеризації вантажу, а це, у свою чергу, примусило задуматися про будівництво контейнерних терміналів. Саме тому проблеми транзиту, логістики і контейнеризації повинні розглядатись комплексно. У статті зроблена спроба виділити окремі напрями.

Развитие транзита, логистики и контейнеризации характеризует состояние современной национальной транспортной системы. Причем развитие одного из направлений, например транзита, послужило толчком к расширению процесса контейнеризации груза, а это, в свою очередь, заставило задуматься о строительстве контейнерных терминалов. Именно поэтому проблемы транзита, логистики и контейнеризации должны рассматриваться комплексно. В статье сделана попытка выделить отдельные направления.

Development of transit, logistics and containerization characterizes the state of the modern national transport system. Thus the development of one of directions, for example transit, has served by a stimulus to expansion of process of cargo containerization, and this, in its turn, has forced to think about building of container terminals. For this reason the problems of transit, logistics and containerization must be considered in a complex. In the article the attempt to select separate directions is done.

Актуальность проблемы

Развитие транзитных перевозок через территорию Украины обусловлено ролью нашей страны как связующего звена между Западом и Востоком, а с вхождением Украины в систему мировых торговых связей этот фактор возрастает.

Сильной стороной железнодорожных магистралей всегда была экономия во времени по сравнению с морским путем через Черное море. Для того, чтобы укрепить преимущества железнодорожного транспорта, необходимо к нетарифным добавить выгоды по тарифу.

В недалеком прошлом основным преимуществом морских контейнерных линий являлось именно преимущество в тарифах. Разница в тарифах между морским и железнодорожным транспортом почти стерлась, и это даже несмотря на активное строительство морскими перевозчиками крупнотоннажных судов. Но дело в том, что цены на топливо в мире растут в геометрической прогрессии, и обратной тенденции в ближайшее время не предвидится, а вот при электрификации железнодорожных линий на всем своем протяжении изменение цен на топливо в мире существенного влияния не окажет.

Все больше и больше грузовладельцев озабочены вопросом сохранности грузов при

транспортировке морским путем. Конечно, далеко не с каждым судном в море случаются неприятности. Однако для каждого грузовладельца важен именно его собственный контейнер. При прочих равных условиях надежность выходит на первый план. Общеизвестным оказывается тот факт, что железнодорожные перевозки считаются самыми безопасными. В любой момент времени предоставляется информация о местоположении груза и графике движения. Железнодорожные перевозки, кроме всего прочего, являются и самыми экологичными. В последнее время внимание европейской общественности было сконцентрировано на загрязнении окружающей среды воздушными судами. Однако среди всех видов транспорта именно на морские перевозки приходится наибольшая доля загрязнений, и это без учета каких-либо аварийных ситуаций, что заставляет судоходные компании все больше внимания и средств уделять вопросам экологии. Проблема стремительно растущих выбросов отработанных газов большегрузными автомобилями актуальна не только в Европе, но и в Украине. Альтернативой данному виду перевозок с экологической точки зрения является железная дорога.

Выгода от транзитных перевозок для экономики страны очевидна, но в полной мере транзитный потенциал используется тогда, когда

достигается баланс движения грузов в ту и другую сторону.

Анализ последних научных исследований

При подготовке данной статьи проанализированы работы отечественных и зарубежных ученых, специалистов в области экономики и организации перевозок, управления транспортом, развития и повышения конкурентоспособности транспортной системы страны, транспортной логистики, в том числе на этапе развития рыночной экономики: Абрамова А. П., Белова И. В., Галабурды В. Г., Громова Н. Н., Кочетова С. Н., Куренкова П. В., Лапидуса Б. М., Мандрикова М. Е., Николаева Д. С., Персианова В. А., Резера С. М., Салатова К. Х., Смехова А. А., Смеховой Н. Г., Терёшиной Н. П., Трихункова М. Ф., Хачатурова Т. Е., Холопова К. В., Бенсона Д., Уайтхеда Дж. и других.

Теоретической и методологической основой исследований в области комплексной оценки экономической эффективности железнодорожных контейнерных перевозок, развития и повышения конкурентоспособности контейнерной транспортной системы (КТС) страны, транспортной логистики, организации и управления внутренними и международными перевозками грузов в контейнерах, являются труды отечественных и зарубежных ученых и практических специалистов: А. П. Абрамова, А. В. Болотина, Б. А. Волкова, В. Г. Галабурды, А. Т. Дерибаса, В. А. Католиченко, Л. А. Кога-на и многих других.

Проблемами реформирования железнодорожной отрасли и ее состояния занимались такие ученые и практики, как Аксенов И. Я., Аненков В. В., Бандман М. К., Головачев А. А., Гуриев С., Зайцев А. А., Ильин И. П., Лапидус Б. М., Михальцев Е. В., Мишарин А. С., Николаев Н. И., Новиков А. И., Питтман Р., Чичагов П. К.

Цель работы

Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования является обоснование комплексного развития современной национальной транспортной системы на основе объединения инструментов транзита, логистики и новейших транспортных технологий.

Изложение основного материала

Развивая тему транзита и связанную с ней проблему логистики, особо хотелось бы оста-

новиться на деловом сотрудничестве с транспортными компаниями Балтийского региона. Дело в том, что сегодня, когда политика все меньше влияет на экономику стран Балтии, Латвия, Эстония и Литва становятся центрами распределения крупнейших грузопотоков, направляющихся из Азии в государства ЕС и СНГ, в т.ч. и Россию.

Уже сегодня в Балтии наблюдается значительный рост спроса на услуги контрактной логистики, увеличивается число таможенных складов, как растут новые грузовые терминалы, логистические и индустриальные парки. Причем наряду с крупнейшими мировыми логистическими операторами, такими, как Schenker, Kuehne&Nagel, DHL, TNT и т.д., в Балтии зарождаются и свои «монстры», которые методично переманивают у конкурентов определенную часть грузовых потоков.

Балтийский опыт представляет для нас несомненный интерес, т.к. даже у небольшого балтийского логистического рынка есть свои плюсы и минусы. К минусам можно отнести обостренную конкуренцию между балтийскими портами и несбалансированную тарифную политику в работе портовых операторов и железной дороги. С другой стороны, небольшой рынок позволяет оперативнее решать назревающие проблемы – в маленьком хозяйстве навести порядок намного проще, чем в большом.

В реальности же и в СНГ, и в ЕС существуют одни и те же проблемы, тем не менее, в условиях маленького рынка многие из них удаётся разрешать на уровне бизнеса, тогда как условия крупных стран раздувают проблему до государственных масштабов.

В этом плане балтийские страны имеют отличную возможность стать пилотным проектом по созданию предпосылок для качественно нового скачка в области единой логистической политики Европейского Союза. В настоящее время в Европе готовится целый ряд фундаментальных документов, которые изменят законодательную основу, раскрыв новые возможности для развития логистической отрасли.

Основополагающим при подготовке данных законопроектов стало введение единого транспортного документа для всех видов транспорта, который призван существенно увеличить удобство пользования специализированной документацией и создать дополнительные возможности при пересечении границ.

Инфраструктура современного перевозочного процесса включает в свой состав транспортно-логистические центры или комплексы.

Эти комплексы помимо технического оснащения требуют немалых площадей, а земля, как известно, вблизи больших городов дорогая. Если же логистические центры размещать на более отдаленном расстоянии от мегаполисов, то возрастают затраты на доставку. Особая проблема – это вывод с территорий больших городов складских объектов, находящихся иногда в районах исторической застройки.

Мировой логистический опыт показывает, что взаимодействие в процессе перевозки грузов различных видов транспорта будет осуществляться в рамках мультимодальных терминально-логистических комплексов, отличительной чертой которых является наличие развитой железнодорожной инфраструктуры. Европейские правительства активно стимулируют переход грузоотправителей на доставку груза железнодорожным транспортом, поскольку это позволяет, разгрузив автомобильные магистрали, улучшить экологическую обстановку в регионе. Это становится все более актуальным и для нашей страны. Причем в Европе для снижения стоимости и ускорения железнодорожной перевозки при регулярной доставке грузов по железной дороге активно используются маршрутные поезда, движущиеся по твердой нитке графика, что также может быть использовано у нас.

Таким образом, без железнодорожной инфраструктуры работа современного логистического центра невозможна. А как в таком случае будет идти формирование сети транспортно-логистических терминалов? Возможны два варианта развития. Согласно первому, роль организатора построения такой сети должно взять на себя «Укрзализныця». По второму варианту строительством сети будут заниматься все желающие и имеющие возможность компании-операторы. Аргументация у сторонников того и другого пути развития достаточно убедительная.

Сторонники первого варианта считают, что создаваемые в настоящее время транспортными операторами терминалы не являются полноценными железнодорожными хабами, поскольку имеют ограниченные возможности по приему, обработке и формированию вагонных отправок и практически не имеют возможности формирования ускоренных маршрутных поездов. Для реальной интеграции украинских железных дорог в глобальную транспортно-логистическую систему необходимо создание конкурентоспособной железнодорожной терминальной инфраструктуры. И роль организа-

тора в ее строительстве должна взять на себя «Укрзализныця».

Еще одной важной проблемой при строительстве хабов с железнодорожной направленностью является очень высокая стоимость подключения к существующей железнодорожной инфраструктуре и объектам коммунального хозяйства, доходящая до 70 % от объема инвестиций в создание хаба. И получается замкнутый круг – на железную дорогу не приходят дополнительные грузы, потому что нет специализированных хабов. А хабов нет, потому что слишком высока стоимость подключения к инфраструктуре. Причем, поскольку у владельца хаба еще нет грузопотока через него, он не может подтвердить железной дороге, насколько возрастет грузопоток по железной дороге при строительстве нового инфраструктурного объекта. В результате в убытке все – и железная дорога, и транспортное сообщество, и грузоотправитель.

Принятие решения о создании системы совместных крупных терминальных комплексов-хабов с железнодорожной специализацией позволит прекратить распыление средств на создание отдельных терминалов, оптимизировать затраты на подключение новых объектов к существующей инфраструктуре и в целом повысить конкурентоспособность железнодорожных перевозок грузов.

Логистические процедуры на подобных терминалах должны быть унифицированы, приведены к единому стандарту. Хабы не должны быть собственностью только тех операторов, которые приняли участие в их создании. Главнейшим условием их существования является их открытость для всех украинских участников рынка транспортной логистики.

Сеть совместных терминальных комплексов-хабов необходимо строить в ключевых местах распределения грузопотоков. Помимо Киева, Львова, Харькова, сеть должна существовать в местах входа грузопотоков в Украину. По крайней мере, несколько хабов должны быть расположены на сухопутной границе с Европой, в морских портах Черного моря. Конечно, и на границе с Россией, это сейчас очень перспективное, но совершенно неразвитое с точки зрения терминальной логистики направление.

Выводы и перспективы дальнейших научных разработок

Для страны положительным эффектом будет переключение части грузопотока с ино-

странного морского транспорта и автодорожного транспорта на украинские железные дороги; создание в стране конкурентоспособной терминальной инфраструктуры. Увеличатся пропускная способность и мощности по обработке грузов в портах и на погранпереходах, за счет контейнеризации грузов и переключения части их на железную дорогу произойдет разгрузка напряженных транспортных узлов и оптимизируются процессы грузоперевозки. В целом можно смело сказать, что все это послужит повышению конкурентоспособности транспортной системы страны.

Для украинских железных дорог такой проект будет означать повышение их конкурентоспособности за счет оказания на ней единой комплексной услуги, расширения грузовой базы и географии перевозок. За счет маршрутных схем движения снизятся издержки, сократятся сроки доставки грузов и оборот вагонов. Все это неизбежно приведет к повышению рейтинга компании в европейской сети железных дорог.

Для логистических компаний, владеющих и управляющих хабами, такой совместный проект будет означать рост их капитализации, повышение эффективности деятельности, минимизацию затрат на развитие собственной инфраструктуры. Компании смогут расширить спектр оказываемых услуг, одновременно оптимизировав расходы на логистику.

И, наконец, самые главные преимущества получают от реализации проекта грузовладельцы. Они смогут получить универсальную комплексную услугу на всех терминальных комплексах. Единое логистическое решение и использование ускоренных маршрутных поездов приведет к снижению стоимости доставки и сроков перевозки грузов. Поскольку на терминалах будут использоваться современные информационно-технологические решения, можно ожидать улучшения качества сервисного обслуживания.

Сопротивление монополии созданию новых терминальных мощностей оказывается на практике хоть стойким, но преодолимым. Даже в «Укрзализныци» понимают, что назад уже нет пути. В большинстве иностранных государств на одной территории функционируют несколько совершенно различных терминалов, при этом они нормально работают, конкурируют. У клиента есть выбор, на рынке есть предложение и, соответственно, улучшение качества. Именно поэтому частные операторы считают, что одной из главных задач на сегодня является строительство новых инфраструктурных объектов. Это позволит развиваться транзитным перевозкам, существенно улучшит дистрибуцию грузов по территории Украины. Перевозочный процесс в России постепенно входит в единое информационное пространство, формирование которого началось с железных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соглашение о международных железнодорожных перевозках (СОТИФ) 1980 г. [Текст].
2. Майер, Дж. Міжнародне середовище бізнесу: Конкуренція та регулювання у глобальній економіці [Текст], [пер. з англ.] / Дж. Майер, Д. Олесневич. – К.: Либідь, 2002. – 703 с.
3. Дергаусов, М. Міжнародні транспортні коридори та Україна [Текст] / М. Дергаусов // Схід. – 2002. – № 1. – С. 25.
4. Легенький, Г. Проблемы развития транзитных перевозок и пути их решения [Текст] / Г. Легенький, А. Новикова // Экономика Украины. – 2000. – № 7. – С. 32.
5. Проблеми погодження розвитку транспортно-комунікаційної інфраструктури України у західному та східному напрямках [Текст] / Д. К. Прейгер та ін. // Стратегічна панорама. – 2001. – № 1-2. – С. 93.
6. Хахлюк, А. Украина – транзитное государство [Текст] / А. Хахлюк // Экономика Украины. – 2001. – № 1. – С. 25.

Поступила в редколлегию 23.06.2008.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

У статті наведено основні теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу як передумова техніко-економічного обґрунтування його оновлення в сучасних умовах розвитку економіки.

В статье приведены основные теоретические положения определения стоимости жизненного цикла тягового подвижного состава как предпосылка технико-экономического обоснования его обновления в современных условиях развития экономики.

In the article the basic theoretical statements of determination of cost of life cycle for the tractive rolling stock as a prerequisite of feasibility study of its update in the modern conditions of economic development are presented.

Актуальність теми. На теперішній час знос тягового рухомого складу залізниць України складає понад 80 %. Тому одною з першочергових задач стає задача його оновлення, чому повинно передувати серйозне техніко-економічне обґрунтування можливих варіантів оновлення.

Огляд досліджень. Широке коло питань, пов'язаних з ефективністю розвитку та технічного переозброєння транспортного виробництва та підвищення рівня використання транспортних засобів, досліджено у працях О. П. Абрамова, Н. Н. Баркова, І. В. Белова, М. Н. Біленького, О. Є. Гібшмана, В. А. Дмитрієва, А. І. Журавеля, Б. С. Козина, В. Є. Козлова, О. В. Комарова, О. М. Макаровича, А. А. Митаїшвілі, В. О. Персіанова, Е. Д. Фельдмана, Є. Д. Ханукова, Б. І. Шафіркіна, В. Я. Шульги, М. Ф. Трихункова, М. Н. Ларіної та ін. Важливе місце в питаннях вибору та обґрунтування параметрів технічних засобів займають роботи І. П. Ісаєва, Є. С. Павловича, Б. Д. Нікіфорова, О. В. Сломянського, О. Н. Фурфрянського, В. Н. Котура.

В сучасних умовах розвитку ринкових відносин питання оцінки ефективності інвестиційних проектів стали предметом досліджень українських економістів: Л. Бакаєва, І. Бланка, Я. Єлейно, А. Пересади, С. Реверчука, В. Федоренка, Г. Тарасюка. Вагомий внесок у розвиток сучасних методик оцінки ефективності інвестиційних проектів зробили зарубіжні вчені: В. Беренс, В. Бочаров, Г. Бірман, П. Віленський, В. Ковальов, В. Лівшиц, Я. Мелкумов, Д. Норткотт, С. Смоляк.

Мета статті. Метою статті є виклад теоретичних положень визначення вартості життєво-

го циклу тягового рухомого складу, як сучасного підходу до техніко-економічного обґрунтування інвестиційних проектів на залізничному транспорті.

Основний текст статті. Згідно положень теорії економічної ефективності інвестиційних заходів [1...13], економічний ефект за розрахунковий період T визначається за формулою

$$E_T = P_T - Z_T, \quad (1)$$

де P_T , Z_T – вартісна оцінка, відповідно, результатів та витрат на здійснення заходів за розрахунковий період, грн.

Вартісна оцінка результатів за розрахунковий період визначається за формулою

$$P_t = \sum_{t=t_n}^{t=t_k} (P_t \cdot \alpha_t), \quad (2)$$

де P_t – вартісна оцінка результатів у рік t розрахункового періоду, грн;

t_n , t_k – початковий та кінцевий рік розрахункового періоду;

α_t – коефіцієнт дисконтування.

Коефіцієнт дисконтування α_t розраховується за формулою

$$\alpha_t = (1 + E_d)^{t_p - t}, \quad (3)$$

де E_d – ставка дисконту;

t – рік життєвого циклу, витрати якого приводяться до розрахункового року;

t_p – розрахунковий рік. Розрахунковим є рік, до якого приводяться витрати інших років життєвого циклу.

Вартісна оцінка результатів визначається як сума основних (P_t^o) і супутніх (P_t^c) результатів

$$P_t = P_t^0 + P_t^c = \sum_{t=t_n}^{t=t_k} (P_t^0 \cdot \alpha_t + P_t^c \cdot \alpha_t). \quad (4)$$

Вартісна оцінка супутніх результатів включає додаткові економічні результати в різних сферах народного господарства, а також економічні оцінки соціальних і екологічних наслідків реалізації заходу (зменшення виробничого травматизму, професійних захворювань, підвищення надійності технічних засобів і безпеки руху поїздів, поліпшення умов обслуговування пасажирів, зменшення забруднення навколишнього середовища та ін.) і визначається за формулою

$$P_t^c = \sum_{j=1}^n (R_{jt} \cdot a_{jt}), \quad (5)$$

де R_{jt} – величина окремого (j -го) результату в натуральному вимірі з урахуванням масштабу його впровадження у рік t ;

a_{jt} – вартісна оцінка одиниці окремого результату у рік t , грн;

n – кількість показників (чинників), що враховуються при визначенні впливу заходу на навколишнє середовище і соціальну сферу.

Витрати на реалізацію інвестиційних заходів за розрахунковий період включають витрати при виробництві та використанні продукції

$$Z_T = Z_T^n + Z_T^B, \quad (6)$$

де Z_T^n – витрати при виробництві нової техніки на основі заходу за розрахунковий період, грн;

Z_T^B – витрати при використанні нової техніки (без урахування витрат на придбання самої продукції) за розрахунковий період, грн.

Витрати при виробництві та використанні нової техніки розраховуються однаково

$$Z_T^{n(B)} = \sum_{t=t_n}^{t_k} (K_t \cdot \alpha_t + I_t \cdot \alpha_t - L_t \cdot \alpha_t), \quad (7)$$

де $Z_T^{n(B)}$ – витрати всіх ресурсів у рік t (включаючи витрати на отримання супутніх результатів), грн;

I_t – поточні витрати при виробництві (використанні) нової техніки у рік t без урахування амортизаційних відрахувань на реновацію, грн;

K_t – одноразові витрати при виробництві (використанні) нової техніки у рік t , грн;

L_t – залишкова вартість (ліквідаційне saldo) основних фондів, що вибувають у рік t , грн.

Очевидно, вартісною оцінкою результатів є доход, який буде отриманий від виконаної ро-

боти при базовому і новому варіанті техніки за розрахунковий період. Однак, при застосуванні тягового рухомого складу визначення його впливу на доходи залізниці уявляє дуже складну задачу, оскільки у формуванні доходів бере участь багато господарств залізниці. Тому при необхідності порівняння різних варіантів тягового рухомого складу можна припустити, що його використання суттєво не вплине на доходи залізниць і не відобразиться на доходній частині економічного ефекту в порівнянні з іншим варіантом техніки. Тобто можна припустити, що $P_T^n = P_T^B$. Тоді економічний ефект визначається зменшенням витрат залізничного транспорту за період роботи тягової одиниці до її виключення із експлуатаційного парку у відповідності із встановленими нормативами і розраховується за формулою

$$\Delta E_T = E_T^n - E_T^B = Z_T^B - Z_T^n, \quad (8)$$

де E_T^n , E_T^B – економічний ефект при використанні, відповідно, нового та базового варіанту техніки, грн;

Z_T^B , Z_T^n – витрати всіх ресурсів у рік t , відповідно, за базовим та новим варіантом техніки, грн.

Підставляючи витрати для базового та нового варіантів техніки у формулу (8), отримаємо:

$$\Delta E_T = \sum_{t=t_n}^{t_k} [(K_t^B \cdot \alpha_t + I_t^B \cdot \alpha_t - L_t^B \cdot \alpha_t) - (K_t^n \cdot \alpha_t + I_t^n \cdot \alpha_t - L_t^n \cdot \alpha_t)]. \quad (9)$$

Вираз, що визначається у круглих дужках, відображає вартість життєвого циклу одного з варіантів тягового рухомого складу:

$$LCC_T = \sum_{t=t_n}^T (K_t \cdot \alpha_t + I_t \cdot \alpha_t - L_t \cdot \alpha_t), \quad (10)$$

де K_t – капітальні вкладення в рік t життєвого циклу, грн;

I_t – поточні витрати в рік t життєвого циклу, грн;

L_t – ліквідаційна вартість основних фондів, які вибувають в рік t життєвого циклу, грн.

Таким чином, визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу є складовою частиною теорії економічної ефективності.

При визначенні вартості життєвого циклу тягового рухомого складу особливу увагу повинно бути наданий вибору норми дисконту E_d . Норма дисконту визначає реальну вартість

грошей в конкретний момент часу. Відмінності у вартості грошової одиниці в різні моменти часу обумовлені можливістю їх альтернативно-го використання, величиною відсоткових ставок за довгостроковими кредитами, інфляційними змінами в економіці в цілому і на окремі продукти і ресурси, а також рівнем різних видів ризику, властивих довгостроковим заходам.

Облік інфляції може здійснюватися або шляхом індексації цін, або шляхом коректування ставки дисконту. У цьому випадку замість величини E_d у формулі (3) використовується модифікована ставка дисконту E_m [5], яка дорівнює

$$E_m = \frac{1 + E_d}{1 + \frac{p}{100}} - 1, \quad (11)$$

де p – річний рівень інфляції, що прогнозується, %.

Стосовно оцінки вартості життєвого циклу тягового рухомого складу повинна оцінюватися вірогідність настання наступних ризиків:

- комерційного ризику, обумовленого зміною економічної ситуації в галузі, країні, регіоні, податкового законодавства і т.ін.;
- виробничого ризику, пов'язаного з виникненням нештатних ситуацій, зміною умов експлуатації, відмовами технічних засобів і устаткування і т.ін.;
- форс-мажорних обставин: стихійних лих, аварій, пожеж і т.ін.

Ризик і невизначеність при визначенні вартості життєвого циклу тягового рухомого складу враховують шляхом коректування грошового потоку або методом поправки на ризик норми дисконту.

Метод коректування грошового потоку передбачає збільшення витрат на величину можливого збитку від виникнення нештатних ситуацій на відповідних кроках розрахункового періоду. При цьому оцінюється вірогідність настання відмов і непланових ремонтів в міжремонтні періоди і розраховується величина витрат по їх усуненню.

Коректування складових грошового потоку необхідно проводити також виходячи з оцінок наростання експлуатаційних витрат, пов'язаних зі старінням локомотива.

Метод поправки на ризик норми дисконту передбачає застосування в розрахунках коефіцієнта дисконтування, розрахованого на базі норми дисконту, що включає рівень ризику:

$$E_r = E_d - \frac{R}{100}, \quad (12)$$

де R – відсоток поправки на ризик норми дисконту.

Капітальні витрати K_t у формулі (10) містять дві частини. Перша – це вартість науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, а також вартість виготовлення тягового рухомого складу. В другу частину входять супутні капітальні витрати, які необхідно здійснювати при упровадженні тягового рухомого складу в експлуатацію (з навчання ремонтного і обслуговуючого персоналу, з підготовки деповської і заводської ремонтної бази, зі збільшення протяжності станційних колій, додаткові інвестиції в потрібний вагонний парк і т.ін.).

Розрахунок першої частини вартості життєвого циклу складний і навряд чи такий необхідний, оскільки це повною мірою відображено в ціні тягового рухомого складу C^{TPC} . Величина другої частини $K^{рек}$ залежить від того, наскільки є в депо устаткування, придатне для ремонту і технічного обслуговування нового тягового рухомого складу.

Ліквідаційна вартість тягового рухомого складу звичайно приймається рівній 10 % від його первинної ціни і враховується тільки при його списанні, тобто на останньому році життєвого циклу. При періоді служби 30 років коефіцієнт дисконтування складає 0,0063, тобто приведена ліквідаційна вартість з урахуванням дисконтування складатиме менше 1 % ціни тягового рухомого складу. Тому при розрахунку вартості життєвого циклу цим доданком можна нехтувати. Тоді для одиниці тягового рухомого складу формула (10) приймає вигляд:

$$LCC_T = C_t^{TPC} \cdot \alpha_t + K_t^{рек} \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T C_t^{KP} \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T C_t^M \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T I_t \cdot \alpha_t \quad (13)$$

де C_t^{TPC} , C_t^{KP} , C_t^M – ціна, відповідно, одиниці тягового рухомого складу, одиниці капітального ремонту та модернізації у рік t життєвого циклу, грн;

$K_t^{рек}$ – витрати на реконструкцію локомотивного господарства у рік t життєвого циклу (в розрахунку на одиницю тягового рухомого складу), грн.

У випадку, коли поточний ремонт та технічне обслуговування ТО-3 тягового рухомого складу будуть виконуватись сторонніми ремон-

тними підприємствами, що очікується, наприклад, у разі реструктуризації локомотивного господарства, формула (13) прийме вид:

$$LCC_T = I_t^{TPC} \cdot \alpha_t + K_t^{pek} \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T (I_t^{KP} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^M \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^{PP-i} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^{TO-3} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t \cdot \alpha_t), \quad (14)$$

де I_t^{PP-i} , I_t^{TO-3} – ціна одиниці, відповідно, поточного ремонту i -го виду та технічного обслуговування ТО-3 у рік t життєвого циклу, грн.

Найскладнішою частиною визначення вартості життєвого циклу одиниці тягового рухомого складу є експлуатаційні витрати I_t із-за значного числа факторів, що впливають на них. Їх можна умовно поділити на дві категорії: ті, на які може впливати виробник (надійність, ремонтпридатність, енергоспоживання), і ті, на які він впливати не може (кваліфікація експлуатаційного персоналу, вартість дизельного палива та електроенергії, динаміка зміни відсоткових ставок та заробітної плати). Ці витрати складаються з наступних елементів: заробітна плата, відрахування на соціальні заходи, матеріали, паливо, електроенергія, інші.

Амортизаційні відрахування, як елемент витрат не слід включати до розрахунку LCC тому, що ці витрати враховуються капітальними витратами, зазначеними вище.

Розрахунок річних експлуатаційних витрат (поточних витрат) необхідно проводити стосовно типових умов експлуатації або на конкретному напрямі (ділянці).

Виходячи з положень, що експлуатаційні витрати за способами перенесення поділяються на прямі та непрямі, а за функціональною роллю у виробничому процесі – на виробничі, загальновиробничі та адміністративні, поточні витрати I_t в розрахунок на одиницю тягового рухомого складу в рік t життєвого циклу визначаються за формулою

$$I_t = I_t^{pp.b} + I_t^{zb} + I_t^a, \quad (15)$$

де $I_t^{pp.b}$, I_t^{zb} , I_t^a – витрати, відповідно, прямі виробничі, загально виробничі, адміністративні в розрахунок на одиницю тягового рухомого складу в рік t життєвого циклу, грн.

Підставляючи значення I_t у формули (13) та (14), отримуємо вирази вартості життєвого циклу одиниці тягового рухомого складу при умовах його експлуатації:

- експлуатаційно-ремонтним локомотивним депо:

$$LCC_T = I_t^{TPC} \cdot \alpha_t + K_t^{pek} \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T (I_t^{KP} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^M \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^{pp.b} + I_t^{zb} + I_t^a) \cdot \alpha_t; \quad (16)$$

- експлуатаційним локомотивним депо з виконанням поточного ремонту та технічного обслуговування окремим ремонтним підприємством локомотивного господарства:

$$LCC_T = I_t^{TPC} \cdot \alpha_t + K_t^{pek} \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T (I_t^{KP} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^M \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T (I_t^{PP-i} \cdot \alpha_t) + \sum_{t_n}^T I_t^{TO-3} \cdot \alpha_t + \sum_{t_n}^T (I_t^{pp.b} + I_t^{zb} + I_t^a) \cdot \alpha_t. \quad (17)$$

Таким чином, показник LCC_T можна застосувати при виборі варіантів нової техніки, для яких безпосереднє визначення суми доходів уявляє значну складність і можна допустити рівність вартісної оцінки результатів. Тобто з декількох альтернативних варіантів нової техніки перевага віддається той, для якої $LCC_T \rightarrow \min$.

Крім того, показник LCC_T можна використовувати у якості критерію оптимізаційних задач, і зокрема при вирішенні питань стосовно вибору варіантів реструктуризації локомотивного господарства.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов [Текст] / В. В. Косов и др. – М.: Экономика, 2000.
2. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика [Текст]: учебн. пособие. – 2-е изд. / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М.: Дело, 2002. – С. 194.
3. Хотомлянський, О. Порівняння методів визначення економічної ефективності інвестицій [Текст] / О. Хотомлянський, П. Знахуренко // Економіка України. – 2007. – № 6. – С. 82-86.

4. Диленко, В. А. Анализ эффективности инновационной деятельности в системе взаимосвязанных производителей [Текст] / В. А. Диленко // Актуальні проблеми економіки. – 2005. – № 11 (53). – С. 183-190.
5. О повышении достоверности оценок эффективности автоматизации управления перевозками [Текст] / С. Ю. Елисеев и др. // Транспорт. Наука, техника, управление: науч.-информ. сб. – 2006. – № 1. – С. 11-18.
6. Беренс, В. Руководство по оценке эффективности инвестиций [Текст], [пер. с англ.] / В. Беренс, П. М. Хавранек. – М.: Интерэксперт: ИНФРА, 1995.
7. Бирман, Г. Экономический анализ инвестиционных проектов [Текст] / Г. Бирман, С. Шмидт. – М.: ЮНИТИ, 1997.
8. Блех, Ю. Инвестиционные расчеты. Модели и методы оценки инвестиционных проектов [Текст], [пер. с нем.] / Ю. Блех, У. Гетце. – Калининград: Янтарный сказ, 1997.
9. Норткотт, Д. Принятие инвестиционных решений [Текст]; [пер. с англ.] / Д. Норткотт; под ред. А. Н. Шохина. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
10. Кузнецов, С. М. Методика оценки надежности инвестиционных проектов [Текст] / С. М. Кузнецов, О. А. Легостаева, С. Н. Ячменьков // Экономика железных дорог. – 2006. – № 2. – С. 20-26.
11. Довбня, С. Б. Новий підхід до оцінки економічної ефективності інвестиційних проектів [Текст] / С. Б. Довбня, К. А. Ковель // Фінанси України. – 2007. – № 7. – С. 62-71.
12. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте [Текст] / ВНИИЖТ МПС. – М.: Транспорт, 1991. – 239 с.
13. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті [Текст]: навч. посібник / Є. І. Балака та ін. – Х.: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2008.

ВПЛИВ МОДЕЛІ ЦІНОУТВОРЕННЯ ТРУБНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Виконано огляд моделей ціноутворення залежно від типів ринків та сфери застосування трубної продукції. Пропонується інноваційний підхід до встановлення конкурентної ціни на трубну продукцію за допомогою регресійного аналізу та розподілу усього сортаментного ряду труб на три діапазони.

Выполнен обзор моделей ценообразования в зависимости от типов рынков и сферы применения трубной продукции. Предлагается инновационный подход к установлению конкурентной цены на трубную продукцию при помощи регрессионного анализа и деления всего сортаментного ряда труб на три диапазона.

The review of models of pricing depending on the types of markets and application sphere of pipe products is executed. Innovative approach to determination of competition price on pipe products through a regressive analysis and division of all assortment row of pipes on three ranges is offered.

ВСТУП

Становлення ринкових відносин у трубній галузі вимагає від виробників перегляду існуючих підходів до встановлення цін на свою продукцію. Сучасні трубні підприємства виготовляють широкий асортимент продукції, технологічна специфіка та складність якої вимагає застосування різних підходів до визначення ціни.

Для формування більш точного уявлення про вітчизняний ринок труб необхідна його класифікація, яка викликає певні складності та спірні моменти через різноманіття сортаменту труб та галузей їх застосування. Останнім часом сегментування ринку трубної продукції відбувається не за технологічним принципом, коли основою є способи виготовлення труб, а за принципом галузевого застосування – будівництво, атомна енергетика, військово-промисловий комплекс, що дозволяє визначити та проаналізувати усі основні групи труб.

Залежно від приналежності основних груп труб до того чи іншого типу ринку, моделі ціноутворення також можуть мати суттєві відмінності.

Загострення конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках трубної продукції робить для українських виробників труб актуальною задачу підвищення їх конкурентоспроможності. Досягнення цієї мети можливе за умов удосконалення цінової політики, а також підвищення якості труб (удосконалення технології та модернізації обладнання, стандартизації й сертифікації продукції, організації сумісної роботи виробників та споживачів, розширення сортаменту труб, підвищення якості металу та

здійснення інших організаційно-технічних заходів).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Ринкове ціноутворення вимагає від підприємств самостійного встановлення цін на свою продукцію. Крім виробничих характеристик і, перш за все, собівартості виробів, за умов ринкового ціноутворення використовуються ринкові ціни та споживчі параметри. Важливим інструментом оцінки позиції підприємства та його продукції на ринку у зіставленні з конкурентами є моделі ціноутворення.

За сучасних умов господарювання порядок ціноутворення розглядається вельми спрощено – як результат маркетингу з урахуванням функціональної взаємодії багатьох ринкових чинників. Для промисловості останніми роками є характерною зміна цінових диспропорцій, яка має бути обґрунтована основними умовами, що забезпечують конкурентоспроможність продукції. За умов трубного виробництва такими є геометричні параметри труб, якість поверхні, умови постачання.

Основною метою статті є критичний огляд можливих моделей ціноутворення трубної продукції на різних типах ринку.

РЕЗУЛЬТАТИ

Труби є продукцією тривалого виробничого циклу, тому під час оцінки їх конкурентоспроможності у ціноутворенні виникають певні задачі, які потребують обов'язкового розв'язання. По-перше, ціна на трубну продукцію має враховувати рівень інфляції за той період, протягом якого відбувається виробничий цикл. По-

друге, для врахування технологічних особливостей, необхідно розраховувати ціну за багатфакторною моделлю.

Відповідно до типів ринків трубної продукції методи ціноутворення можуть бути наступними (рис. 1).

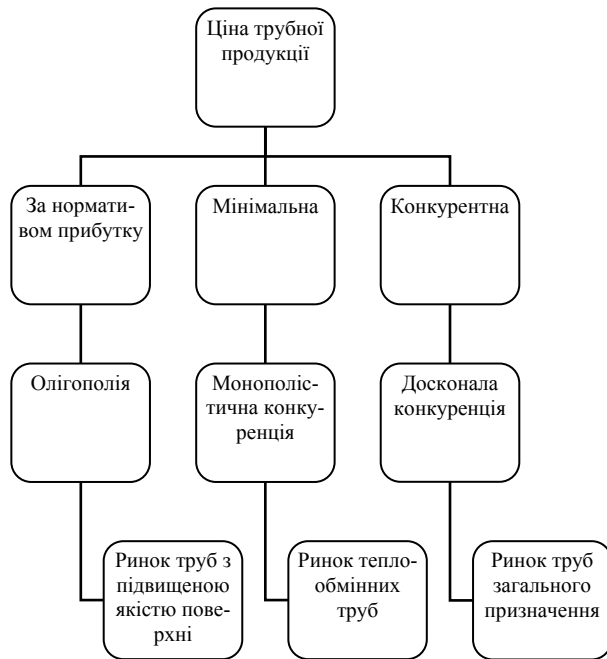


Рис. 1. Методи обґрунтування ціни на трубну продукцію

Ціна за нормативом прибутку може встановлюватися для унікальних труб, що виготовляються за спеціальними замовленнями. В цьому випадку використовується доведена замовнику собівартість труб S з додаванням нормативної рентабельності виробництва $r_{\text{вир}}$. Порядок визначення ціни буде наступний:

$$C = S(1 + r_{\text{вир}}). \quad (1)$$

Це типовий витратний метод ціноутворення, який в умовах олігополії удосконалюється проведенням конкурсів постачальників. Для труб з підвищеною якістю поверхні витратний метод ціноутворення на сьогоднішній день є незамінним, оскільки дозволяє відшкодувати доведені витрати виробника й отримати гарантований прибуток.

Мінімальна ціна, або ціна, що індексується, для продукції тривалого виробничого циклу може розраховуватися з урахуванням інфляції й непрямого оподаткування власних обігових коштів, при цьому мінімальна рентабельність виробництва продукції, запропонована у [2],

з урахуванням специфіки трубної галузі, буде визначатися наступним чином:

$$r_{\text{мін}} = \frac{P_{\text{мін}}}{S} = \frac{(1+i)^t - 1 + \text{ПДВ} \left(\frac{\text{ВПП}}{3 - \text{Відх} + \text{ВПП}} \right)}{1 - \text{ПДВ} - \text{ПП}}, \quad (2)$$

де $r_{\text{мін}}$ – мінімальна рентабельність виробництва трубної продукції;

$P_{\text{мін}}$ – умовний прибуток, пов'язаний з урахуванням інфляції й оподаткування обігових коштів, що використовуються у виробничому циклі, грн;

S – собівартість трубної продукції, грн;

i – рівень інфляції за місяць;

t – тривалість виробничого циклу у місяцях;

ВПП – витрати по переділу певного виду труб, грн;

3 – вартість заданого у виробництво металу, грн;

Відх – вартість відходів, грн.

Мінімальна рентабельність дозволяє розраховувати прибуток, який необхідно отримати у виробництві й спрямувати на поповнення обігових коштів для компенсації втрат від інфляції та оподаткування.

За умов трубного виробництва мінімальна ціна може застосовуватися на ринку теплообмінних труб, а також труб для парових котлів та трубопроводів.

Найбільш масовим є ринок труб загального призначення, тому тут, на думку авторів, доцільне застосування нормативно-параметричних методів ціноутворення, які дозволяють порівняти трубну продукцію певного підприємства з аналогічною продукцією конкурентів. Використання зазначених методів дозволяє переконати замовника у перевазі того чи іншого виду трубної продукції порівняно з іншою, аналогічною за сферою застосування.

З урахуванням специфіки трубної галузі доцільне застосування регресійного аналізу та бального способу зіставлення цін.

За допомогою регресійного аналізу визначаються техніко-економічні параметри продукції, що відноситься до даного параметричного ряду, виконується побудова та вирівнювання цінових співвідношень. Цей метод використовується для аналізу й обґрунтування рівня та співвідношення цін продукції, яка характеризується наявністю одного або декількох техніко-економічних параметрів, що відображають основні її споживчі властивості. Регресійний аналіз дозволяє знайти емпіричну формулу залеж-

ності ціни від техніко-економічних параметрів виробів.

Параметричний ряд у трубному виробництві може являти собою групу виробів з урахуванням геометричних параметрів, технологічних особливостей або сфери застосування. Під час формування параметричного ряду необхідно дотримуватися основних вимог:

- до складу групування повинні бути включені параметри, які зафіксовані у ГОСТ, стандартах та технічних умовах;
- сукупність відібраних параметрів повинна досить повно характеризувати конструктивні, технологічні та експлуатаційні властивості виробів та мати тісний кореляційний зв'язок з ціною;
- параметри не повинні бути взаємозалежні.

Основною складовою ціни трубної продукції є витрати по переділу (ВПП), оскільки за умов застосування фіксованого витратного коефіцієнту металу собівартість труб змінюватиметься лише в залежності від ВПП.

В основі існуючої моделі ціноутворення лежить умовне попадання в собівартість труб кожного розміру з використанням реальних витрат по переділу на базовий типорозмір і диференціювання базових витрат на решту усіх типорозмірів відповідно до Прейскуранта цін [3]. Тобто фактично накладаються реальні витрати цеху на кожен типорозмір труб з використан-

ням прейскурантних цін, які виступають як коефіцієнт диференціювання на кожен розмір по всьому розмірному ряду труб одного стандарту і марки сталі. Отримуючи таким чином умовну собівартість і додаючи фіксований рівень рентабельності, отримуємо ринкову ціну труб.

Проте дана методика має істотний недолік – вона постійна при будь-якому стані попиту й пропозиції трубної продукції на ринку. Зокрема, ринкова ціна труб діаметром менше 21 мм вища, ніж отримувана розрахунковим шляхом за даною методикою. А для діаметрів вище 60 мм ринкова ціна нижча, ніж розрахункова.

Виходом з даної ситуації є інноваційний підхід до моделювання ціни, запропонований авторами. Основна його ідея – це розподіл всього ряду сортаменту труб на три діапазони: 5...20 мм; 21...60 мм; 61...102 мм. Для кожного діапазону обирається базовий розмір – найбільш ємкий і стабільний за замовленням розмір труб. Для діапазону 5...20 мм розмір 16х2 мм, для діапазону 21...60 мм розмір 25х2 мм, для діапазону 61...102 мм розмір 76х4 мм. Далі базові витрати по переділу на 1 умовну тону базового розміру труб, масово вироблюваних в цеху, диференціюються на кожен діапазон шляхом множення на коефіцієнт коригування. І потім базові ВПП диференціюються на кожен розмір у діапазоні відповідно до Прейскуранта (рис. 2).

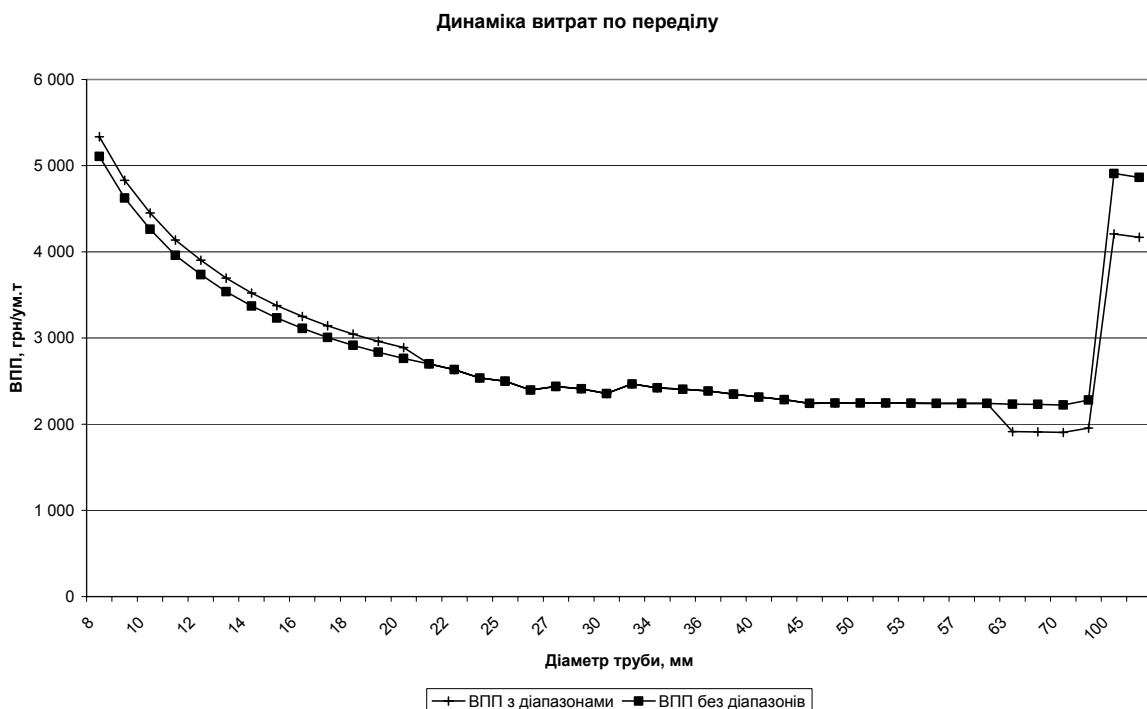


Рис. 2. Динаміка витрат по переділу

Таким чином, штучно збільшуються ВПП на одному діапазоні труб та зменшуються на іншому. Середній діапазон залишається без змін.

Але наведена методика має ступінчастий характер на межі діапазонів. Суттєво відрізняється собівартість труб діаметром 20 та 21 мм і також 60 та 61 мм, які за стандартом у розмірному ряду ідуть один за одним. Згладжувати такі розбіжності пропонуємо за допомогою регресійного аналізу.

Регресійну залежність ціни трубної продукції від її геометричних розмірів та технологічних особливостей з урахуванням запропонованих діапазонів можна охарактеризувати за допомогою конкурентної ціни [2]. Для побудови регресійної залежності «ціна – параметри» будемо використовувати геометричні параметри труб, а саме діаметр та товщину стінки. У межах вищезазначених діапазонів авторами отримані наступні рівняння залежності ціни від обраних параметрів (для труб, що виготовляються згідно ГОСТ 9941-81, зі сталі марки 08X18H10T):

- у межах діапазону від 1 до 20 мм:

$$y_1 = 0,032x_1 + 0,292x_2 - 0,408; \quad (3)$$

- у межах діапазону від 21 до 60 мм:

$$y_2 = 0,080x_1 + 0,884x_2 - 3,045; \quad (4)$$

- у межах діапазону від 61 мм:

$$y_3 = 0,150x_1 + 1,724x_2 - 11,273, \quad (5)$$

де x_1 – діаметр труби, мм;

x_2 – товщина стінки труби, мм.

Таким чином, на будь-якому з обраних діапазонів ціна є найбільш чутливою до зміни товщини стінки труби.

Ціна у трубному виробництві встановлюється на 1 умовну тонну, для чого розраховується теоретична вага труб. При визначенні залежності ціни за 1 м від теоретичної ваги у межах діапазону від 1 до 20 мм найбільш вірогідною є експоненціальна лінія тренда (рис. 3).

При визначенні залежності розрахункової ціни за 1 умовну тонну від теоретичної ваги у межах зазначеного діапазону найбільш вірогідною є ступенева лінія тренда (рис. 4).

Таким чином, ціна за 1 м знаходиться у прямо пропорційній залежності від теоретичної ваги, а ціна за 1 умовну тонну – у зворотно пропорційній.

Також одним з варіантів розрахунку ціни на трубну продукцію є бальний метод, основна ідея якого полягає у тому, що на основі експер-

тних оцінок значущості параметрів виробів для споживачів кожному параметру присвоюється певна кількість балів, сума яких дає відповідну інтегральну оцінку техніко-економічного рівня виробу.

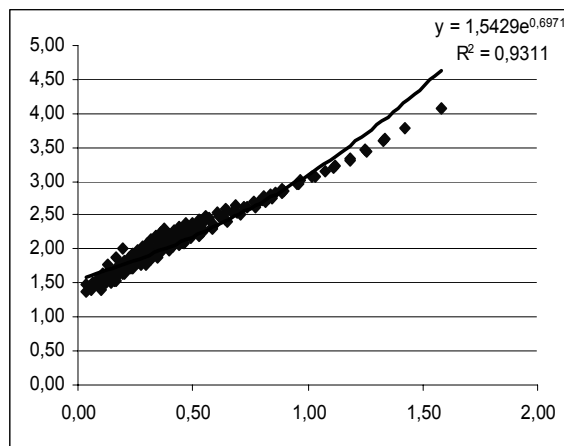


Рис. 3. Експоненціальна лінія тренда у межах діапазону від 1 до 20 мм

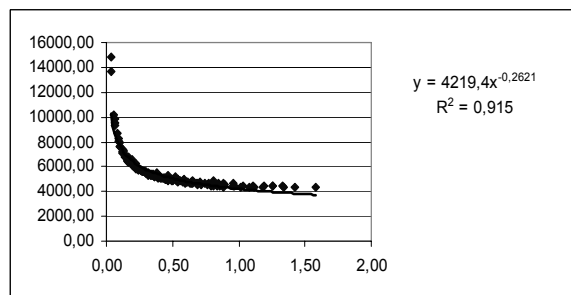


Рис. 4. Ступенева лінія тренда у межах діапазону від 1 до 20 мм

В умовах трубного виробництва бальний метод доцільно застосовувати для порівняльної оцінки тих видів труб, попит на які досить обмежений і ринкова ціна та інформація щодо кон'юнктури ринку, як правило, відсутня. Бальна оцінка при цьому буде являти собою вирівнювання цін на виріб з різним рівнем одних і тих самих параметрів в залежності від суми присвоєних балів. Специфіка бальної оцінки полягає у порівнянні кожного виробу параметричного ряду з виробом-еталоном за такими показниками, які зафіксовані у діючих стандартах та технічних умовах та мають найбільш важливе значення для споживача.

Кількість показників за умов бальної оцінки має бути обмеженою й одночасно досить повно характеризувати споживчі властивості виробів. Це пов'язано з тим, що при значній кількості показників кожен з них має відносно меншу питому вагу і, як результат, знижується значущість кожного конкретного показника.

ВИСНОВКИ

Таким чином, товарний ринок трубної продукції є конкурентоспроможним. Він є відкритим для міжрегіональної та міжнародної торгівлі. Загострення конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках спонукає вітчизняні трубні підприємства проводити модернізацію виробництва з метою зниження енерговитрат, підвищення продуктивності праці, розширення асортименту продукції, створення систем якості у відповідності до міжнародних стандартів.

Необхідною умовою для залучення інвестицій є прогнозованість цінової політики. Також ринок труб вимагає посиленого контролю за ринковими показниками крупних господарюючих суб'єктів та структур, у тому числі за виробниками сировини для трубної промисловості, майновими відносинами між господарюючими суб'єктами з метою попередження зловживань домінуючим становищем й підтримання сприя-

тливого конкурентного середовища на відповідних товарних ринках.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ицкович, И. И. Концепция ценообразования для машиностроительной продукции длительного производственного и эксплуатационного цикла [Текст] / И. И. Ицкович // Экономика и производство. – 2006. – № 3. – С. 41-43.
2. Ласточкин, Ю. В. Модели ценообразования высокотехнологичной продукции, обеспечивающие конкурентоспособность предприятия [Текст] / Ю. В. Ласточкин, И. И. Ицкович // Экономика и производство. – 2004. – № 3. – С. 12-16.
3. Прейскурант № 01-13. Оптовые цены на трубы стальные бесшовные и сварные [Текст]. – М.: Государственный комитет СССР по ценам, 1989.

Надійшла до редколегії 23.06.2008.

ЕКОНОМІЧНА СУТНІСТЬ СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТІВ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Визначені складові системи обслуговування і ремонтів основних засобів регіональної системи газопостачання, уточнена їх термінологія відповідно до міжгалузевих і галузевих вимог.

Определены составляющие системы обслуживания и ремонтов основных средств региональной системы газоснабжения, уточнена их терминология соответственно с межотраслевыми и отраслевыми стандартами.

The components of system of service and repairs of main means of regional gas supply system are determined, assets, their terminology according to interbranch and branch standards is specified.

Вступ

Сучасний стан основних засобів регіональної системи газопостачання потребує ретельного планування робіт з підтримки їх працездатності та відновлення первісних характеристик, оскільки несвочасне або неякісне проведення запобіжно-відновних заходів несе погрозу раптової значної шкоди для людей, споруд і обладнання, які розміщені поблизу газопостачальної мережі. Для підвищення якості планування обслуговування і ремонтів основних засобів регіональної системи газопостачання в умовах росту складності та кількості запобіжно-відновних заходів необхідно визначити види цих заходів, їх економічну сутність і зв'язки між ними.

Постановка задачі

Склад, послідовність і періодичність виконання запобіжно-відновних заходів газопостачальної мережі визначені галузевими нормативними документами: «Правилами безпеки систем газопостачання України» [1] та «Правилами обстеження, оцінки технічного стану і проведення планово-попереджувальних ремонтів газопроводів і споруджень на них» [2]. Тлумачення запобіжно-відновних термінів регламентуються Державним стандартом 18322-78 «Система технічного обслуговування і ремонту техніки. Терміни і визначення» [3], дія якого поширюється на всі підприємства народного господарства України. При цьому слід відзначити, що термін «технічне обслідування» Державним стандартом не визначений, але визначений Галузевими нормативними документами, а термін «захист від корозії» не визначений жодним з них, хоча на діючих газопроводах завжди проводиться пасивний, і, за потреби, активний захист.

Таким чином, складовими системи обслуговування і ремонтів основних засобів регіональної системи газопостачання є технічне обслуговування, технічне обслідування, ремонт, поточний ремонт, капітальний ремонт, захист від корозії. Визначення сутності і цільового призначення цих заходів важливо для їх планування.

В зв'язку з цим ціллю статті є уточнення термінів: «технічне обслуговування», «технічне обслідування», «ремонт», «поточний ремонт», «капітальний ремонт», «захист від корозії» стосовно основних засобів регіональної системи газопостачання, що дозволить обґрунтувати їх склад, взаємозв'язок, послідовність проведення.

Результати дослідження

Згідно з Державним стандартом, технічне обслуговування – це «комплекс операцій чи операція з підтримки працездатного або справного стану виробу при використанні його за призначенням, чеканні, збереженні і транспортуванні», а під ремонтом розуміється – «комплекс операцій по відновленню справності або працездатності виробу і відновленню ресурсів виробу чи його складових частин» [3].

Аналізуючи визначення технічного обслуговування і ремонту, необхідно відзначити, що в їх склад не включені роботи зі своєчасного виявлення несправностей елементів виробів і визначення їх технічного стану, які є сполучною ланкою між технічним обслуговуванням і ремонтом. Відсутність такого виду робіт є недоліком діючого Державного стандарту. Відповідно до [1], під технічним обслуговуванням слід розуміти «систему обходів (оглядів), ремонтів, які дозволяють утримувати устаткування в справному стані». Відповідно до [2], під технічним обслуговуванням слід розуміти

«комплекс заходів, спрямований на підтримку працездатного і справного стану підземного газопроводу і споруд на ньому, що включає його огляд, догляд і періодичний ремонт».

Неважко помітити розходження між визначеннями технічного обслуговування, наведеними в різних Галузевих правилах. Наявність таких відмін для визначення одного виду робіт відносно однакових об'єктів є неприпустимим. Крім того, включення до складу технічного обслуговування ремонту в першому визначенні і періодичного ремонту в другому невірно тому, що ремонт відповідно до Держстандарту виконується з метою відновлення експлуатаційних характеристик устаткування, що не відповідає визначенню терміна «технічне обслуговування» в Державному стандарті. Крім того, термін «періодичний ремонт» не визначений ні в Державному стандарті, ні в Галузевих правилах, що робить його використання необґрунтованим.

Виходячи з Державного стандарту [3], пропонується стосовно газопостачальної мережі ***під технічним обслуговуванням розуміти комплекс операцій чи операцію з підтримки працездатного або справного стану елементів газопостачальної мережі при використанні їх за призначенням, а також при чеканні, збереженні і транспортуванні.***

В Галузевих правилах додатково до термінів Державного стандарту введено і визначено термін «технічне обстеження», що дозволило для підприємств регіональної системи газопостачання заповнити відсутню ланку і утворити перехід від технічного обслуговування до ремонту. Під технічним обстеженням (технічним оглядом) розуміється «періодичний обхід (огляд) з метою спостереження за станом герметичності газопроводів і станом обладнання і споруд на них, електрохімічного захисту, а також усунення дрібних несправностей, які виникли в процесі експлуатації» [1, 2]. На наш погляд, визначення технічного обстеження є нечітким і неповним. В ньому упущене головне – визначення технічного стану елементів газопостачальної мережі для ухвалення рішення щодо необхідності їх ремонту і змісту ремонтних робіт. При цьому роботи, які відповідно до визначення слід виконувати під час технічного обстеження, в деякій мірі дублюють роботи, які виконуються при технічному обслуговуванні, а саме роботи з обходу (огляду) елементів мережі. Крім того, у визначенні не зазначені поряд з герметичністю і станом електрохімічного захисту інші параметри, які необхідно контролювати і вимірювати та по їх значеннях визначати стан елементів мережі. У відповідності з [2], до таких параметрів стосовно, наприклад, сталевих підземних газопроводів відносяться герме-

тичність газопроводу, стан металу труби, якість зварних стиків, стан ізоляційного покриття, стан будівельних конструкцій (компенсаторів, конденсатозбірників, газових колодязів і інш.), стан електрохімічного захисту, корозійна активність навколишнього середовища. У зв'язку з тим, що кількість показників, за значеннями яких визначається стан елементів газопостачальної мережі, складає більше десяти і їх повний перелік у визначенні терміну «технічне обслуговування» ускладнить його сприйняття, вважається доцільним вилучити з визначення їх перелік.

Виходячи з вище сказаного і Галузевих правил [1, 2], пропонується ***під технічним обстеженням розуміти комплекс операцій чи операцію по визначенню значень показників, які характеризують технічний стан елементів газопостачальної мережі.***

Для відновлення експлуатаційних характеристик технічних засобів проводяться ремонти. Поняття ремонту не визначено в Галузевих правилах. Тому ***під ремонтом***, виходячи з Державного стандарту [3], стосовно газопостачальної мережі ***пропонується розуміти комплекс операцій по відновленню справності або працездатності елементів газопостачальної мережі і відновленню ресурсів її елементів.***

Ремонти у Державному стандарті, Галузевих правилах, а також і в науковій літературі, поділяються на поточні і капітальні [1, 3–7]. В Державному стандарті під поточним ремонтом розуміється ремонт, який виконується для забезпечення чи відновлення працездатності виробу і є заміною та (або) відновленням окремих його частин. У науковій літературі конкретизується, що під час поточного ремонту можуть замінитися або відновлюватися всі деталі за винятком базових, заміна і відновлення яких здійснюється під час капітального ремонту [5, 6].

В Державному стандарті під капітальним ремонтом розуміється ремонт, який виконується для відновлення справності і повного або близького до повного відновлення первісного ресурсу виробу із заміною чи відновленням будь-яких його частин, включаючи базові. Згідно з визначеннями поточного і капітального ремонтів, основними відмінностями між цими видами ремонтів є: ступінь відновлення виробу, важливість деталей, які ремонтуються або замінюються для забезпечення його працездатності. Крім цих відмінностей, у науковій літературі вказується, що капітальний ремонт виконується стосовно таких виробів, які непридатні до подальшої експлуатації або їх використання економічно недоцільно, а поточний ремонт здійснюється до остаточного виходу виробу з ладу і може проводитися навіть в процесі його екс-

платуації [6, 8, 9]. У зв'язку з цим нерідко поняття «поточний» ремонт змішується з технічним обслуговуванням, що суперечить економічній сутності цього заходу і його визначенню в Державному стандарті. Крім того, під час капітального ремонту здійснюється відновлення первісного ресурсу виробу. При цьому, як відзначається в [6], за допомогою ремонту може бути досягнуте тільки часткове відшкодування фізичного зносу, повне ж відшкодування досягається заміною зношених виробів на аналогічні або більш досконалі.

Визначення виду ремонту є важливим при плануванні запобіжно-відновних заходів основних засобів регіональної системи газопостачання. Це пов'язано з тим, що від виду ремонту, а також від виду основного засобу, який ремонтується, залежить ступінь використання його ресурсу, організація ремонту, перелік необхідних машин, приладів і матеріалів для його проведення, а також кількісний і професійний склад ремонтної бригади і, як наслідок, витрати і ефективність проведення ремонтних робіт [10]. Крім того, по виду проведеного ремонту можна визначити ступінь відновлення виробу і його технічні характеристики, що певним чином впливає на періодичність технічного обслуговування і технічного обстеження виробу в подальшій експлуатації. Так, періодичність технічного обстеження підземного газопроводу строком служби більше, ніж 25 років становить 3 рази на рік, а після проведення його капітального ремонту шляхом заміни труби газопроводу періодичність зростає до 5 разів на рік. Визначення виду ремонту також є корисним при формуванні кошторису ремонту, оскільки для однакових видів основних засобів, як правило, використовуються типовий набір матеріалів, машин, приладів і обладнання, а також при визначенні бюджету, необхідного для проведення всіх запланованих ремонтів.

Відповідно до Галузевих правил [1, 2] під поточним ремонтом слід розуміти ремонт, який «призначений для постійної підтримки працездатності систем газопостачання, усунення дефектів і витоків газу, виявлених при технічному обслуговуванні, комплекс операцій з розбирання, відновленням або заміною деталей вузлів, після виконання яких гарантується справність і безаварійність газопроводів і споруджень на них на наступний термін експлуатації».

Визначення терміна «поточний ремонт» в Галузевих правилах, незважаючи на його повноту, не дає чіткої уяви про обсяг робіт, який слід виконувати під час поточного ремонту. Крім того, у визначенні використовується поняття «наступний термін експлуатації», яке не визначено ні в Державному стандарті, ні в Галузевих правилах. Разом з тим, в Державному

стандарті визначено термін «експлуатація», під яким розуміється «сукупність усіх фаз існування устаткування з моменту узяття його на балансовий облік і до списання, включаючи періоди збереження, транспортування споживачам, використання по призначенню і усі види технічного обслуговування і ремонту» [3, с. 57]. Оскільки період експлуатації включає усі етапи ремонтного циклу, а, отже, усі види ремонту, використання вислову «наступний термін експлуатації» в наведеному вище визначенні є некоректним. Крім того, необхідність проведення поточного ремонту може бути виявлена також під час технічного обстеження елементів газопостачальної мережі, що особливо стосується такого об'єкту основних засобів, як газопровід.

Тому *під поточним ремонтом*, виходячи з Державного стандарту [3], стосовно газопостачальної мережі *пропонується розуміти ремонт, який виконується для забезпечення або відновлення працездатності елементів газопостачальної мережі, який є усуненням несправностей, виявлених при технічному обслуговуванні або обстеженні, а також заміною і (або) відновленням окремих небазових частин цих елементів*.

Відповідно до Галузевих правил [1, 2], під капітальним ремонтом слід розуміти «роботи з заміни ділянок газопроводів, що стали непридатними, зношених деталей, вузлів і конструкцій, а також роботи з ремонту основних конструкцій будівель і споруджень систем газопостачання». У визначенні терміна «капітальний ремонт» не відображено його цільове призначення, яке складається у відновленні первісних якостей технічного засобу, що ремонтується і знаходиться у стані, непридатному до подальшої експлуатації, а також потребує ремонту або відновлення базових частин [5]. У визначенні капітального ремонту стосовно газопостачальної мережі як об'єкт ремонту зазначені основні конструкції будівель, які не є елементами мережі і не згадуються в наступних визначеннях.

Виходячи з вище сказаного, *під капітальним ремонтом* стосовно газопостачальної мережі *пропонується розуміти ремонт, який виконується для відновлення справності і повного або близького до повного відновлення первісного ресурсу елементів газопостачальної мережі з заміною чи відновленням будь-яких частин цих елементів, включаючи базові*.

Ремонтні роботи відносно газопроводу в Галузевих правилах не поділені на поточні і капітальні. При цьому по відношенню до газопроводу виділяються такі види ремонтних робіт, як ремонт захисного покриття, ремонт зварних стиків або швів, заміна ділянки газопроводу.

Для визначення виду ремонту, до якого відносяться вказані ремонтні роботи, насамперед необхідно встановити, що є базовою частиною газопроводу.

За визначенням, газопровід є спорудою з труб, з'єднаних шляхом зварювання в одну лінію – нитку [11]. Крім труб, газопровід складається з допоміжних елементів, які покращують його експлуатаційні характеристики, до них відносяться: конденсатозбірники, компенсатори та інші. При цьому газопровід більше, ніж на 95 % складається з труб, що дозволяє визнати їх його базовими деталями. Крім того, заміна труб виконується в тому випадку, коли за технічним станом газопровід визнано непридатним до подальшої експлуатації. Таким чином, роботи з заміни труб ділянки газопроводу можна віднести до капітального ремонту. Інші ремонтні роботи можуть бути віднесені до поточного ремонту, оскільки вони не включають заміну базових частин газопроводу, можуть виконуватися без зупинки процесу транспортування газу і частково відновлюють ресурс газопроводу.

Крім робіт з обслуговування, обстеження і ремонту, для підтримки газопостачальної мережі в працездатному стані здійснюється захист її елементів від шкідливого впливу навколишнього середовища. Для захисту елементів газопостачальної мережі від хімічної корозії використовуються ізоляційні матеріали (пасивний захист від корозії). Ізоляційні матеріали у вигляді покриття використовуються для захисту газопроводів, а у вигляді фланців – для захисту споруд на ньому. Використання ізоляційних матеріалів дозволяє знизити шкідливий вплив навколишнього середовища на елементи газопостачальної мережі, які захищаються, а також обмежити проникнення до них блукаючих струмів, що розповсюджуються в ґрунті. Так, використання ізоляційного покриття для захисту підземного газопроводу від корозії дозволяє на початкових стадіях його експлуатації знизити швидкість корозійного руйнування труби газопроводу в 100 і більше раз, що свідчить про високу ефективність цього засобу захисту [12]. У зв'язку з цим застосування ізоляційних покриттів для захисту підземних газопроводів є обов'язковим і регламентується ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання» [13].

Для зниження швидкості електрохімічної корозії, яка, головним чином, задає шкідливий вплив підземним газопроводам, разом з ізоляційним покриттям використовуються станції захисту. Станції захисту здійснюють обмеження, відвід і придушення блукаючих струмів, які впливають на газопровід (активний захист від корозії). Використання таких засобів захисту дозволяє не тільки продовжити термін експлуатації газопроводу, але і зменшує витрати на його

експлуатацію і ремонт. На вибір виду станції захисту впливає велика кількість факторів, найбільш істотними з яких є: вологість ґрунту; склад і концентрація розчинених у ньому речовин; сила блукаючого струму, який впливає на газопровід, і вид його джерела; ступінь концентрації в місці розташування газопроводу будинків, споруд і металевих підземних комунікацій. Так, дренажні станції захисту рекомендується встановлювати на газопроводах, на які впливають блукаючі струми, що виходять від електрифікованої залізниці, і коли існує можливість підключення кабелю станції захисту до тягової підстанції. Протекторні станції, як правило, установлюють для підвищення ступеня захищеності віддалених ділянок газопроводу або у випадках, коли немає можливості установити катодну чи дренажну станцію захисту. До таких випадків відносяться: віддаленість джерела електричної енергії, підвищена щільність забудови навколо газопроводу, невелика довжина ділянки, які потребує захисту. В інших випадках рекомендують здійснювати захист за допомогою катодних станцій.

Таким чином, незалежно від місця розташування газопроводу, він може бути захищений за допомогою станцій захисту, дія яких сприяє подовженню періоду його безаварійної експлуатації. Тому можна сказати, що захист є невід'ємним і обов'язковим заходом з обслуговування і ремонту основних засобів регіональної системи газопостачання. Разом з тим, термін «захист» не визначено ні в Державному стандарті [3], ні в Галузевих правилах [1, 2]. Пропонується визначити *захист від корозії* стосовно газопостачальної мережі як *комплекс організаційно-виробничих заходів, спрямованих на усунення або зниження шкідливого впливу навколишнього середовища на елементи газопостачальної мережі*.

Визначення складових системи обслуговування і ремонту газопостачальної мережі, які наведені в нормативній міжгалузевій і галузевій літературі [1, 2, 3], а також запропоновані їх визначення наведені в табл. 1.

Висновки

Уточнення термінології та визначення сутності заходів системи обслуговування і ремонтів дозволить підвищити якість планування запобіжно-відновних заходів основних засобів регіональної системи газопостачання, що, з одного боку, забезпечить працездатний стан газопостачальної мережі, а, з іншого, дозволить знизити витрати на її утримання.

Таблиця 1

Складові системи обслуговування і ремонту основних засобів регіональної системи газопостачання та їх визначення

Найменування терміна	Джерело			Запропоновано стосовно газопостачальної мережі
	[3]	[1]	[2]	
Захист від корозії	Невизначений	Невизначений	Невизначений	Комплекс організаційно-виробничих заходів, спрямованих на усунення або зниження шкідливого впливу навколишнього середовища на елементи газопостачальної мережі
Технічне обслуговування	Комплекс операцій чи операція з підтримки працездатного або справного стану виробу при використанні його за призначенням, чеканні, збереженні і транспортуванні	Система обходів (оглядів), ремонтів, які дозволяють утримувати устаткування в справному стані	Комплекс заходів, спрямований на підтримку працездатного і справного стану підземного газопроводу і споруд на ньому, що включає його огляд, догляд і періодичний ремонт	Комплекс операцій чи операція з підтримки працездатного або справного стану елементів газопостачальної мережі при використанні їх за призначенням, а також при чеканні, збереженні і транспортуванні
Технічне обстеження	Невизначений	Періодичний обхід (огляд) з метою спостереження за станом герметичності газопроводів і станом обладнання і споруд на них, електротехнічного захисту, а також усунення дрібних несправностей, які виникли в процесі експлуатації		Комплекс операцій чи операція по визначенню параметрів, які характеризують технічний стан елементів газопостачальної мережі
Ремонт	Комплекс операцій по відновленню справності або працездатності виробу чи його складових частин	Невизначений	Невизначений	Комплекс операцій по відновленню справності або працездатності елементів газопостачальної мережі і відновленню ресурсів її елементів
Поточний ремонт	Ремонт, який виконується для забезпечення або відновлення працездатності виробу і є заміною та (або) відновленням окремих його частин	Ремонт, який призначений для постійної підтримки працездатності систем газопостачання, усунення дефектів і витоків газу, виявлених при технічному обслуговуванні, комплекс операцій з розширенням, відновленням або заміною деталей вузлів, після виконання яких гарантується справність і безаварійність газопроводів і споруджень на них на наступний термін експлуатації		Ремонт, який виконується для забезпечення працездатності елементів газопостачальної мережі, який є усуненням несправностей, виявлених при технічному обслуговуванні або обстеженні, а також заміною і (або) відновленням окремих базових частин цих елементів
Капітальний ремонт	Ремонт, який виконується для відновлення справності і повного або близького до повного відновлення первісного ресурсу виробу із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові	Роботи з заміни ділянок газопроводів, що стали непридатними, зношених деталей, вузлів і конструкцій, а також роботи з ремонту основних конструкцій будівель і споруджень систем газопостачання		Ремонт, який виконується для відновлення справності і повного або близького до повного відновлення первісного ресурсу елементів газопостачальної мережі із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила безпеки систем газопостачання України [Текст]. – Затв. наказом Державного Комітету по нагляду за охороною праці України від 01.10.1997 № 254. – К.: Основа, 1998. – 367 с.
2. Правила обстеження, оцінки технічного стану і проведення планово-попереджувальних ремонтів газопроводів і споруджень на них [Текст]. – Затв. наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України від 09.06.1998 № 124. – К., 1998. – 37 с.
3. Государственный стандарт 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 18 с.
4. Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) металлургического оборудования предприятий системы министерства черной металлургии СССР [Текст] / Ю. В. Черников и др. – Тула: Тулупрполиграфиздат, Ефремовское ПО «Печатник», 1982. – 389 с.
5. Консон, А. С. Экономика ремонта машин [Текст] / А. С. Консон. – Л.: Машиностроение, 1970. – 215 с.
6. Коцюба, А. И. Повышение эффективности использования основных производственных фондов в черной металлургии [Текст] / А. И. Коцюба. – Д.: Обл. типогр., 1993. – 176 с.
7. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики [Текст]; 3-е изд. / Н. Н. Синягин и др. – М.: Энергоиздат, 1984. – 448 с.
8. Зайцев, Х. П. Экономика ремонтного хозяйства металлургических заводов [Текст] / Х. П. Зайцев, М. А. Фоменко, А. И. Гайдаренко. – К.: Техника, 1974. – 336 с.
9. Капустин, К. Е. Эффективность реконструкции и ремонта металлургических агрегатов [Текст] / К. Е. Капустин. – М.: Металлургия, 1979. – 207 с.
10. Черников, Ю. В. Совершенствование организации планово-предупредительных ремонтов обжимных станов [Текст] / Ю. В. Черников // Сталь. – 1978. – № 10. – С. 955-957.
11. Митрофанов, И. А. Обслуживание линейной части магистрального газопровода [Текст] / И. А. Митрофанов. – М.: Недра, 1965. – 148 с.
12. Зинкевич, А. М. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии [Текст] / А. М. Зинкевич, В. И. Глазков, В. Г. Котик. – М.: Недра, 1975. – 288 с.
13. ДБН В.2.5-20-2001. Газопостачання [Текст]. – К.: Держбуд України, 2001. – 212 с.

Надійшла до редколегії 21.07.2008.

ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ НАКОПИЧЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО РЕСУРСУ

У статті розглядаються теоретичні і практичні проблеми накопичення інвестиційного ресурсу та інвестування як один з аспектів планування економічної політики держави.

В статье рассматриваются теоретические и практические проблемы накопления инвестиционного ресурса и инвестирование как один из аспектов планирования экономической политики державы.

Theoretical and practical problems of accumulating investment resources as well as the investment as one of the aspects of planning the state economic policy have been considered in the article.

Постановка проблеми

У сучасних умовах у нашій державі поглиблюються процеси демократизації усього суспільного життя. У боротьбі між економічною конфронтацією та партнерством культура зовнішньоекономічної діяльності стоїть на боці партнерства, еволюційного розв'язання суперечностей, сприяючи збереженню економічного здобутку суспільства та його розвитку.

Розвиток підприємницької діяльності в основному залежить від типу і рівня культури рівномірного розподілення залучених коштів у суспільстві.

У теперішній час теоретико-практичні аспекти накопичення інвестиційних ресурсів на регіональному рівні розроблені недостатньо. Так, будь-яка методика має містити правовий аналіз, кількісний та якісний. Важливим є детальне вивчення даної проблеми та визначення оптимальної методики на даному етапі.

Головними завданнями даної статті є довести, що:

- внутрішні економічні фактори помітно впливають на організаційну структуру та функціональні завдання політики регулювання зовнішньоекономічної діяльності;
- важливим джерелом інвестицій у вітчизняну економіку є заощадження;
- у зв'язку з високим ступенем спрацювання основних фондів підприємств, а також гострим дефіцитом інвестиційних ресурсів, є необхідним докорінне реформування державної політики, націлене на інтенсифікацію внутрішніх інвестиційних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зовнішньоекономічна діяльність країни полягає у встановленні зовнішніх зв'язків держа-

ви з іншими країнами та міжнародними організаціями – партнерами міжнародної діяльності. Зовнішні зв'язки держави – це взаємообмін з країнами світу продуктами матеріального виробництва, послугами, інформацією на основі міжнародного поділу праці, а також співдружність політичних органів, направлена на ефективне рішення глобальних проблем людства, вирішення особистих проблем громадян.

Зовнішні зв'язки проявляються у видах зовнішньоекономічної діяльності, яку здійснюють суб'єкти цієї діяльності. Можливими видами зовнішньоекономічної діяльності є: експорт та імпорт товарів, капіталів та робочої сили; залучення іноземних інвестицій; надання суб'єктами зовнішньоекономічної діяльності України послуг іноземним суб'єктам господарської діяльності, в тому числі: виробничих, транспортно-експедиційних, страхових, консультаційних, маркетингових, експортних, посередницьких, брокерських, агентських, консигнаційних, управлінських, облікових, аудиторських, юридичних, туристських та інших, надання вищезазначених послуг іноземними суб'єктами господарської діяльності суб'єктам зовнішньоекономічної діяльності України.

Розробці теоретичних і практичних аспектів проблем накопичення інвестиційного ресурсу та вдосконалення процесів інвестування проєктів присвячені роботи багатьох вчених-економістів: Пересади А. А., Майорової Т. В. [7], Куриленко Т. П. [5], Тарасенко Н. Б. [8] та інші. У їхніх роботах розглянуті проблеми фінансування інвестиційних проєктів, накопичення і розподілу інвестиційного ресурсу, подано методичний аспект оцінювання різних елементів вказаного процесу. А. А. Пересада, Т. В. Майорова та А. А. Ляхова [10] найбільшою проблемою інвестора в процесі форму-

вання інвестиційних ресурсів вважають визначення їх загального обсягу.

Метою статті є розкриття сутності інвестиційного процесу, як одного з способів розвитку та налагодження зовнішньоекономічної діяльності в сучасних умовах розвитку держави.

Виклад основного матеріалу

Вибір джерел фінансування інвестиційних проєктів визначається рядом факторів:

- масштабістю проєкту (глобальний, великомасштабний, регіональний, галузевий, локальний) і обсягом необхідних фінансових ресурсів;
- наявністю і доступністю фінансових ресурсів;
- впливом обраного джерела фінансування інвестиційного проєкту на фінансове становище підприємства.

Політика регулювання зовнішньоекономічної діяльності є складовою частиною внутрішньої і зовнішньої політики держави. Зовнішньоекономічна діяльність в Україні спрямована на лібералізацію економічних відносин. Внутрішні економічні фактори помітно впливають на організаційну структуру та функціональні завдання політики регулювання зовнішньоекономічної діяльності. Економічна інтеграція у останні десятиліття тісно пов'язана з політичними засадами глобального і регіонального процесів. Необхідно відзначити, що в Україні поступово формується прогресивна структура зайнятості, бо відбувається піднесення інвестиційної активності, хоча зміни, які проходять у галузевій структурі зайнятості, значною мірою не синхронізовані з інвестиційною активністю. Понад 50 % інвестицій спрямовується у базові галузі промисловості, що ще не сприяє переходу до інноваційної структури економіки.

У структурі прямих іноземних інвестицій за галузями переважають харчова промисловість та внутрішня торгівля. Іноземний інвестор віддає перевагу галузям із коротким терміном окупності. Однак, це працємісткі галузі, де створюються нові робочі місця, внаслідок чого зменшується національний обсяг безробіття.

Важливим джерелом інвестицій у вітчизняну економіку є заощадження. Саме приватні заощадження стають надійним джерелом інвестицій. Лише від емігрантів з Європи у тогорічний бюджет країни надійшло 20 % заощаджень.

Важливо, щоб інвестиції поєднувались з інноваціями. Часто іноземні інвестиції в українське виробництво носять товарний характер, тобто підприємства одержують кредит у вигляді

ді сировини, обладнання чи послуг. До того ж, товарні кредити надаються під мінімальні відсотки, що робить отримання таких коштів справді вигідним. Залучаючи інвестиції, необхідно піклуватися про інвестиційну безпеку держави.

Реалізація політики економічного зростання передбачає потребу підвищення конкурентоспроможності економіки внаслідок якісного оновлення діючих та створення нових робочих місць. Також для покращення інвестиційного клімату в країні політика у сфері інвестування повинна передбачати консолідацію інвестиційних ресурсів як із внутрішніх (національних), так і зовнішніх (іноземних) джерел. Для цього у держави є як важелі прямої дії у вигляді централізованих державних капітальних вкладень в об'єкти загальнодержавного значення та розвиток державного сектора економіки, так і засоби непрямого регулювання інвестиційного середовища за допомогою бюджетного та грошово-кредитного регулювання.

Важливе значення у формуванні ефективної інвестиційної політики відводиться інноваційній діяльності, яка полягає у створенні нових видів конкурентоспроможної продукції на основі новітніх технологій та характеризується, насамперед, результативністю вкладень у розвиток економіки, заміною застарілої техніки і технологій більш продуктивними, екологічно безпечними та безвідходними засобами виробництва. Економічні результати цієї діяльності полягають у економії матеріальних ресурсів, скороченні трудових витрат, зниженні шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Інвестування інноваційної діяльності є частиною загального інвестиційного процесу, який повинен забезпечуватися декількома джерелами фінансування залежно від цільових завдань та призначення майбутнього винаходу. Фундаментальні наукові дослідження, як основа науково-технічного прогресу та інновацій, мають некомерційний характер, і тому головним джерелом їхнього фінансування повинні бути бюджетні асигнування. Фінансування наукових досліджень за пріоритетними напрямками повинно здійснюватися замовниками із залученням коштів загальнодержавного та регіональних бюджетів. Важливим напрямком діяльності держави є безпосередня участь центральних, регіональних та місцевих органів влади в регулюванні обсягів і використанні різних джерел інвестиційних ресурсів.

У процесі формування оптимальної структури інвестиційних ресурсів необхідно врахо-

увати як період вкладення коштів, так і період їх окупності. Відомо, що умови формування високих кінцевих результатів інвестиційної діяльності залежать від структури сформованих інвестиційних ресурсів.

Як свідчить світовий досвід, вдало вибрана структура джерел накопичення інвестиційних ресурсів надає можливість реалізувати інвестиційний проект в терміни, які задовольняють всі суб'єкти процесу.

Отже, у зв'язку з високим ступенем спрацювання основних фондів підприємств, а також гострим дефіцитом інвестиційних ресурсів, є необхідним докорінне реформування державної політики, націлене на інтенсифікацію внутрішніх інвестиційних процесів. Як зауважує Я. Лоскутова, основними напрямками інвестиційної політики мають бути такі аспекти:

- комплексна податкова реформа для створення максимальної прозорості і стабільної податкової політики;
- введення у податкову практику поняття інвестиційного кредиту;
- удосконалення амортизаційної політики;
- розвиток ринку капіталу;
- формування механізму довгострокового кредитування підприємств.

За оцінками іноземних спеціалістів, сьогодні нараховується близько 3000 вільних економічних зон, у яких створено майже 3 млн робочих місць.

Вільні економічні зони можна класифікувати наступним чином:

- вільні економічні зони, які виступають організаційною формою активізації експорту, залучення іноземних інвестицій;
- вільні економічні зони як форма регіональної політики для стимулювання соціально-економічного розвитку депресивних регіонів;
- вільні економічні зони, в яких поєднуються характеристики перших двох зон.

Згідно з рішеннями Кіотської конференції (1973), під вільною економічною зоною розуміють частину території країни, на якій товари розглядаються як об'єкти, що знаходяться за межами митної території, і не підлягають звичайному митному контролю та оподаткуванню.

Згідно із законодавством України, спеціальна (вільна) економічна зона визначається як частина території України, на якій створюється і діє спеціальний правовий режим економічної діяльності, порядок використання та дії законодавства України. Поняття вільної економічної зони (ВЕЗ) – правова категорія, що широко ви-

користується інститутами Міжнародної організації праці, Центром ООН щодо транснаціональних корпорацій, Всесвітньою асоціацією вільних економічних зон, документами Євро-союзу.

У світовій практиці ВЕЗ розглядаються за формами, які відображають їх специфічну модифікацію, своєрідність тієї чи іншої країни. Одна із перших сучасних спеціальних виробничих зон з'явилася у 1959 р. в Ірландії, в аеропорту «Шенон» на площі 15 га з метою створення 300 нових робочих місць. Через 15 років там нараховувалося вже 2300 робочих місць. Створена в Англії в 1982 р. зона в аеропорту «Дог Айленд» на площі 2000 га залучила більше 1 млрд фунтів стерлінгів і дозволила створити 2500 нових робочих місць. Із 1978 р. в Китаї почалося створення спільних підприємств за участю іноземного капіталу. III Пленум ЦК КПК прийняв рішення про створення ВЕЗ у 14 прибережних містах із населенням понад 20 млн. Ці ВЕЗ забезпечують сьогодні майже 2/3 зовнішнього товарообігу країни. До них надійшло іноземних інвестицій: за перші десять років – 22 млрд дол., 1997 р. – 11 млрд, 2000 р. – 29 млрд, 2004 р. – 110 млрд., 2007 р. – 170 млрд дол.

Повноваження, що були надані адміністраціям цих економічних зон:

- самостійність у розробці і затвердженні всіх інвестиційних проектів;
- широкі повноваження в регіональному аспекті управління;
- самостійність в регулюванні ставок орендної плати, плати за комунальні послуги, тарифів, бюджетних платежів місцевого рівня;
- повне розпорядження частиною виготовленої у ВЕЗ продукції;
- реєстрація підприємств із пільговим режимом діяльності;
- координація діяльності місцевих підрозділів центральних контролюючих органів.

При цьому держава залишається гарантом проведення експерименту у цілому, а також у пільговому проходженні інвестиційних проектів.

У США ВЕЗ розглядають як особливу позитивну силу в торговому і економічному розвитку. Особливість таких зон – жорстке правове регулювання як із центру (Вашингтон), так і в регіонах. «Силікон Веллі» – найбільша в США зона, яка дає 20 % світового виробництва засобів обчислювальної техніки і комп'ютерів. У ній зайнято 20 тис. чоловік. Найближчим часом у США планується створення до 1000 ВЕЗ,

обсяг інвестицій повинен досягти понад 3 млрд дол. Виникне майже 100 тис. робочих місць. Сьогодні у ВЕЗ США здійснюється наступна діяльність:

- складування, випробовування, ремонт та утилізація комплектуючих деталей електронних виробів;
- складування та переупаковка товарів на експорт в Канаду та Мексику;
- виробництво запасних частин для легкових та вантажних автомобілів вітчизняного та іноземного виробництва;
- виробництво коштовностей, музичних інструментів, іграшок, парфумів, комп'ютерів, оптичної техніки.

Американський досвід показує, що у ВЕЗ створюються умови для стимулювання виробництва суспільно необхідних товарів, виробництво яких відчуває дискомфорт у системі традиційних виробничих відносин. Досить ефективно ВЕЗ працюють у Сінгапурі, Південній Кореї, Малайзії, на Маврикії.

Але не скрізь спроби створити ВЕЗ були успішними. У Шрі Ланка, Гватемалі, Ліберії, Сенегалі тощо ВЕЗ постраждали від політичної нестабільності та громадських зворушень, від надзвичайно заплутаної, з точки зору інвесторів, системи пільг та стимулів.

У 1987–1988 рр. обговорювалося питання створення ВЕЗ у Виборзькій та Находкінській областях (Росія). В обох випадках мова йшла про невеликі прикордонні території. Але в 1989–1990 рр. без практичного досвіду почалося створення більш масштабних ВЕЗ: Зеленоград («Технополіс Зеленоград»), Калінінська обл. («Янтарь»), Єврейська Автономна обл. («Єва»), Кемеровська обл. («Садко»), Сахалінська обл. Зони створили, але очікувана економічна ефективність не була досягнута. Основна причина: на значній території Росії неможливо було встановити пільгове законодавство, особливо у сфері податків, оскільки це призвело б до різкого скорочення доходів державного бюджету.

Висновки

Отже, політика у сфері інвестування є складовою частиною планування економічної полі-

тики, яка проводиться державою, галузями, регіонами, підприємствами, шляхом встановлення масштабів і структури інвестицій, джерел формування, напрямків їх раціонального використання, відновлення технічної бази виробництва. А через залучення зарубіжних інвестицій планується вирішувати найпекучіші соціально-економічні проблеми країн із перехідною економікою і, зокрема, безробіття.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гаврилюк, О. Методи регулювання діяльності іноземних інвестицій у країнах реципієнтах [Текст] / О. Гаврилюк // Економіка України. – 2007. – № 3. – С. 79.
2. Державне регулювання інвестиційної діяльності [Текст] // Фінанси України. – 2004. – № 10. – С. 123.
3. Завідовський, В. П. Історичний аспект інвестиційного процесу [Текст] / В. П. Завідовський // Економіка: проблеми теорії та практики. – Вип. 170. – С. 171.
4. Закон України «Про Національну депозитарну систему та особливості електронного обігу цінних паперів в Україні» [Текст], 2006.
5. Куриленко, Т. П. Проектне фінансування [Текст]: підручник / Т. П. Куриленко. – К.: Кондор, 2006. – 208 с.
6. Концепція функціонування та розвитку фондового ринку України [Текст], 2005.
7. Пересада, А. А. Управління банківськими інвестиціями [Текст]: монографія / А. А. Пересада, Т. В. Майорова. – К.: КНЕУ, 2005.
8. Тарасенко, Н. Б. Економічний аналіз діяльності промислового підприємства [Текст]: навч. посібник / Н. Б. Тарасенко. – К.: Алеута, 2003.
9. Чухно, А. А. Цивілізаційний і формаційний підходи та їх роль в економічній теорії та суспільній практиці [Текст] / А. А. Чухно // Економіка України. – 2001. – № 6. – С. 39-47.
10. Пересада, А. А. Проектне фінансування [Текст]: підручник / А. А. Пересада, Т. В. Майорова, О. О. Ляхова. – К.: КНЕУ, 2005.
11. Gershuny, J. The new service economy: the transformation of employment in industrial societies [Текст] / J. Gershuny, I. Miles. – London: Frances Pinter, 2003.

Надійшла до редколегії 26.06.2008.

ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Розглядається продуктивність праці на залізничному транспорті України, методи її розрахунку по господарствах та фактори, які впливають на її зміни.

Рассматривается производительность труда на железнодорожном транспорте Украины, методы ее определения по хозяйствам и факторы, которые влияют на ее изменение.

The labor productivity on railway transport of Ukraine, the methods of its calculation at facilities and the factors affecting its changes are considered in the article.

Продуктивність праці, як економічна категорія, є одним із найважливіших показників суспільного виробництва. Вона відображає витрати живої і уречевленої праці в процесі виробництва. Як відомо, на залізничному транспорті, в цілому, продуктивність праці визначається як відношення обсягу роботи 1 тонно-км приведених ($\sum P_{\text{прив.}}$) до середньостатистичної чисельності працівників транспорту ($Ч_{\text{сп}}$), які задіяні процесом перевезень, тобто

$$P_{\text{праці}} = \frac{\sum P_{\text{прив.}}}{Ч_{\text{сп}}}, \left(\frac{\text{ТКМ}_{\text{прив.}}}{\text{ЧОЛ}} \right).$$

Слід відзначити, що за період незалежності України як спеціалісти транспорту, так і вчені не приділяють належної уваги цьому важливому показнику. Продуктивність праці не показана і в галузевих статистичних звітах, немає і в публікаціях вчених та спеціалістів. На жаль, не звертають уваги на цей показник і на галузевих науково-практичних конференціях.

Міністр Економіки Данилишин [1] вказує, що в Україні продуктивність праці становить лише 30 % продуктивності праці країн Євросоюзу. А середньорічні темпи приросту продуктивності праці за 2000-2006 рр. в Україні становить 7,2 %, а реальної заробітної плати – 19,2 %, тобто, в 2,7 разів більше. За цей же період фізичний обсяг ВВП збільшився на 55 %, а чисельність зайнятих – лише на 2,75 %. Виходить, що суспільна продуктивність праці за ці роки підвищилась в 1,51 разу й за рахунок її збільшення було отримано 95 % приросту ВВП.

Яка ж картина на залізничному транспорті, як окремі галузі народногосподарського комплексу? Так, якщо визначити продуктивність праці по наведеній вище формулі, то в 1996 р. вона склала $2,0 \times 10^3$ прив.ткм/чол. а в

2004 р. – уже $2,606 \times 10^3$ прив.ткм/чол. Тобто, майже за 8 років продуктивність праці зросла більш як на 30 відсотків, що вказує, що середньорічні темпи приросту продуктивності праці на залізничному транспорті відповідають темпам в цілому по державі.

Окремі галузі залізничного транспорту мають певні особливості у визначенні продуктивності праці, які відображають характер виробничих процесів. Так, в господарствах електрифікації та енергетики, автоматики, телемеханіки та зв'язку продуктивність праці визначають як відношення кількості технічних одиниць ($N_{\text{т.од.}}$) до контингенту працівників ($Ч_{\text{сп}}$), які їх обслуговують, тобто

$$P_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{т.од.}}}{Ч_{\text{сп}}}, \left(\frac{\text{техн.одиниць}}{\text{ЧОЛ.}} \right).$$

Як відомо, за одну технічну одиницю приймають таку кількість технічних засобів, на обслуговування яких треба витратити працю одного працівника за один місяць. Є також особливості визначення продуктивності праці і по інших галузях залізничного транспорту – локомотивному, вагонному, перевезень.

Так, по локомотивному господарству продуктивність праці визначається відношенням кількості тонно-кілометрів бруто, що приходяться в середньому на одного робітника експлуатаційного штату. По вагонному – кількість вагоно-кілометрів, що приходяться у середньому на одного робітника по експлуатації, або кількістю випущених з ремонту вагонів в приведених одиницях на одного робітника. По господарству перевезень – кількість приведених тонно-кілометрів, що приходяться на одного робітника на експлуатації.

Розглянемо продуктивність праці по одній із залізниць.

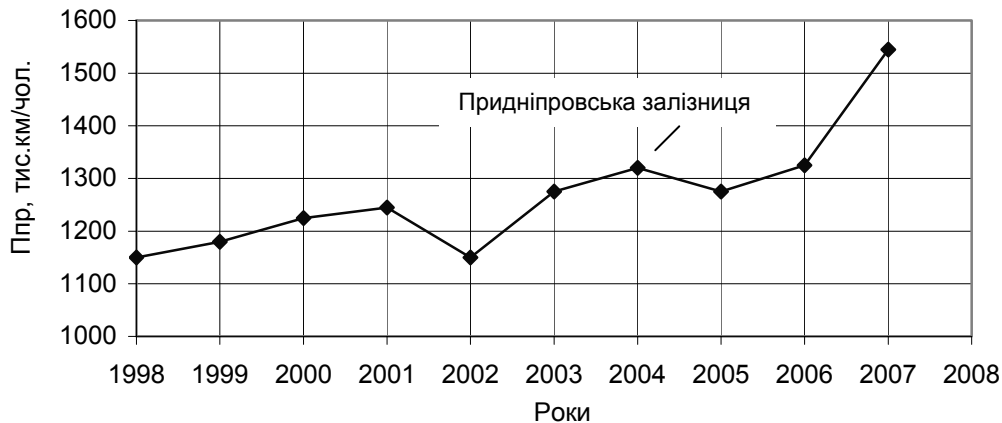


Рис. 1. Динаміка продуктивності праці

Як бачимо з рис. 1, продуктивність праці по одній із залізниць за останні майже 10 років має стабільні темпи зростання.

На продуктивність праці впливає цілий ряд факторів, внаслідок дії яких продуктивність праці має тенденції до зростання або до зменшення. Серед них найважливішими для залізниць є:

- об'єм та структура перевезень (вантажні, пасажирські, транзит, ввіз, вивіз, завантаження, розвантаження та інші);
- вантажонапруженість;
- співвідношення видів тяги та серій локомотивів, профіль колії, технічна оснащеність залізниць, обладнаних автоблокуванням та диспетчерською централізацією;
- наявність сортувальних станцій, які обладнані засобами механізації та автоматизації;
- природно-кліматичні умови;
- об'ємні та якісні показники використання рухомого складу;
- розповсюдження та втілення у виробництво передового досвіду, суміщення професій, розширення зон обслуговування;
- втілення у перевізний процес досягнень науково-технічного прогресу;
- удосконалення нормування праці, підвищення кваліфікації працівників транспорту;
- покращення системи планування та управління перевізним процесом;
- удосконалення технологічних процесів станцій.

Кожен із вказаних вище факторів знаходить відображення в змінах продуктивності праці при певних організаційно-технічних умовах, визначення яких також має інтерес як для виробників, так і для науковців.

В результаті аналізу факторів, які впливають на зростання продуктивності праці, встановлено, що підвищення об'єму перевезень ($Q_{\text{п}}$), дільничної швидкості ($V_{\text{д}}$), продуктивності локомотива ($P_{\text{л}}$), продуктивності вагону ($P_{\text{в}}$), статичного навантаження ($P_{\text{ст}}$), маси потягу (P) забезпечують зростання продуктивності праці, що видно на прикладі як для окремої залізниці, так і для Укрзалізниці.

Разом з тим, зростання порожнього обігу вагонів, часу обертання вагонів, простій вагонів на технічних станціях негативно впливають на продуктивність праці.

На нашу думку, найближчим часом треба в Укрзалізниці в усіх галузевих управліннях створити комісії щодо аналізу стану та розробки заходів з підвищення продуктивності праці на залізничному транспорті.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дзеркало тижня [Текст]. – 2008. – № 4.
2. Ревенко, А. Забута продуктивність праці [Текст] / А. Ревенко // Дзеркало тижня, 2008. – № 10.
3. Зеркалов, Д. В. Довідник залізничника [Текст] / Д. В. Зеркалов. – К.: Основа, 2006.

Надійшла до редколегії 23.06.2008.

КЛАСИФІКАЦІЯ І ДІАГНОСТИКА РЕГІОНАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФАСЕТНОГО АНАЛІЗУ

У даній статті розглянуті можливості фасетного аналізу для класифікації і діагностики регіональних інноваційних проектів. Запропонована методика дозволяє групувати проекти в агреговані класи, що дозволяє визначатися із стратегією регіонального управління по кожному проекту.

В данной статье рассмотрены возможности фасетного анализа для классификации и диагностики региональных инновационных проектов. Предложенная методика позволяет группировать проекты в агрегированные классы для определения стратегии регионального управления по каждому проекту.

The possibilities of facet analysis for classification and diagnostics of regional innovative projects are considered in this article. The offered method allows to group projects in the aggregated classes for determination of strategy of regional management on every project.

Вступ. Фасетний метод класифікації створений, перш за все, для пошуку необхідної інформації при організації бібліотечних каталогів [1]. Специфіка управління регіональними інноваційними проектами обумовила доцільність використання фасетної класифікації для віднесення регіональних проектів до визначених класів з метою подальшого уточнення методів управління цими проектами. Але сама по собі класифікація недостатньо ефективна, її необхідно поєднувати з подальшим фасетним аналізом.

Аналіз досліджень і публікацій за темою дослідження, на які спирається автор. Відносно новий напрям у класифікації, що розвивається впродовж останніх декількох десятиріч років, став відомим як аналітико-синтетична або фасетна класифікація [1, 2, 3]. Саме такий підхід реалізований у роботі для класифікації інноваційних проектів. Результати фасетної класифікації оформлюються у вигляді спеціальної таблиці, стовпці якої визначають критерії класифікації, а рядки – можливі значення цих критеріїв. Послідовність розташування фасетів у таблиці зазвичай відповідає тому порядку, у якому повинні сполучатися всі критерії для отримання інтегрального значення. Порядок сполучення критеріїв дозволяє виявити сутнісний зв'язок між ними.

Усередині кожного фасету значення ознак частіше розташовують ієрархічно. Хоча порядок усередині фасету має менше значення, ніж інші аспекти структури класифікації, зовсім зневажати ним не варто. Можливі наступні принципи такого порядку: від простого до складного або навпаки; просторовий або геоме-

тричний принцип; хронологічний, історичний або еволюційний.

Крім того, слід зауважити, що фасетна класифікація вільна від обмежень традиційної ієрархічної класифікації, дозволяє вільно сполучати критерії для виразу багатоаспектності об'єктів класифікації, їх складності, це дозволяє отримати нові логічні зв'язки між критеріями і вийти на рівень об'єднання елементарних класів у агреговані, що відрізняються один від іншого змістом управлінського рішення.

Формування цілей статті. Основною ціллю статті є розгляд можливостей фасетного аналізу для класифікації і діагностики регіональних інвестиційних проектів. Ціллю аналізу є розподіл інноваційних проектів за класами у відповідності до регіональних пріоритетів.

Викладання основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням наукових результатів. Згідно з поставленою ціллю, всю множину інноваційних проектів доцільно розбити на наступні загальні агреговані класи:

1. Стратегічні регіональні проекти (пріоритетні і звичайні);
2. Тактичні регіональні проекти (пріоритетні і звичайні);
3. Проекти нерегіонального рівня (стратегічні державні, тактичні бізнесові).

Перелік цих агрегованих класів обумовлений результатами фасетної класифікації і розробленим у роботі механізмом фасетного аналізу. Для отримання переліку агрегованих класів пропонуємо спеціальні прийоми фасетного аналізу. Кількість агрегованих класів визначається наявністю так званих «стоп-факторів» та ключових факторів. Крім цих категорій факто-

КЛАСИФІКАЦІЯ І ДІАГНОСТИКА РЕГІОНАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФАСЕТНОГО АНАЛІЗУ

У даній статті розглянуті можливості фасетного аналізу для класифікації і діагностики регіональних інноваційних проектів. Запропонована методика дозволяє групувати проекти в агреговані класи, що дозволяє визначатися із стратегією регіонального управління по кожному проекту.

В данной статье рассмотрены возможности фасетного анализа для классификации и диагностики региональных инновационных проектов. Предложенная методика позволяет группировать проекты в агрегированные классы для определения стратегии регионального управления по каждому проекту.

The possibilities of facet analysis for classification and diagnostics of regional innovative projects are considered in this article. The offered method allows to group projects in the aggregated classes for determination of strategy of regional management on every project.

Вступ. Фасетний метод класифікації створений, перш за все, для пошуку необхідної інформації при організації бібліотечних каталогів [1]. Специфіка управління регіональними інноваційними проектами обумовила доцільність використання фасетної класифікації для віднесення регіональних проектів до визначених класів з метою подальшого уточнення методів управління цими проектами. Але сама по собі класифікація недостатньо ефективна, її необхідно поєднувати з подальшим фасетним аналізом.

Аналіз досліджень і публікацій за темою дослідження, на які спирається автор. Відносно новий напрям у класифікації, що розвивається впродовж останніх декількох десятиріч років, став відомим як аналітико-синтетична або фасетна класифікація [1, 2, 3]. Саме такий підхід реалізований у роботі для класифікації інноваційних проектів. Результати фасетної класифікації оформлюються у вигляді спеціальної таблиці, стовпці якої визначають критерії класифікації, а рядки – можливі значення цих критеріїв. Послідовність розташування фасетів у таблиці зазвичай відповідає тому порядку, у якому повинні сполучатися всі критерії для отримання інтегрального значення. Порядок сполучення критеріїв дозволяє виявити сутнісний зв'язок між ними.

У середині кожного фасету значення ознак частіше розташовують ієрархічно. Хоча порядок усередині фасету має менше значення, ніж інші аспекти структури класифікації, зовсім зневажати ним не варто. Можливі наступні принципи такого порядку: від простого до складного або навпаки; просторовий або геоме-

тричний принцип; хронологічний, історичний або еволюційний.

Крім того, слід зауважити, що фасетна класифікація вільна від обмежень традиційної ієрархічної класифікації, дозволяє вільно сполучати критерії для виразу багатоаспектності об'єктів класифікації, їх складності, це дозволяє отримати нові логічні зв'язки між критеріями і вийти на рівень об'єднання елементарних класів у агреговані, що відрізняються один від іншого змістом управлінського рішення.

Формування цілей статті. Основною ціллю статті є розгляд можливостей фасетного аналізу для класифікації і діагностики регіональних інвестиційних проектів. Ціллю аналізу є розподіл інноваційних проектів за класами у відповідності до регіональних пріоритетів.

Викладання основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням наукових результатів. Згідно з поставленою ціллю, всю множину інноваційних проектів доцільно розбити на наступні загальні агреговані класи:

1. Стратегічні регіональні проекти (пріоритетні і звичайні);
2. Тактичні регіональні проекти (пріоритетні і звичайні);
3. Проекти нерегіонального рівня (стратегічні державні, тактичні бізнесові).

Перелік цих агрегованих класів обумовлений результатами фасетної класифікації і розробленим у роботі механізмом фасетного аналізу. Для отримання переліку агрегованих класів пропонуємо спеціальні прийоми фасетного аналізу. Кількість агрегованих класів визначається наявністю так званих «стоп-факторів» та ключових факторів. Крім цих категорій факто-

рів виділяють ще фактори байдужості, вони несуть тільки інформаційне навантаження.

Так, критерій першого фасету класифікації – розповсюдженість інновацій, з точки зору регіональних інтересів виступає як «стоп-фактор». Цей критерій має дві ознаки – дифузні і одиничні (унікальні) проекти. Регіональний рівень управління зацікавлений, перш за все, у дифузних інноваціях, які можна впроваджувати в умовах споріднених виробництв, розташованих на території регіону і отримувати від цього ефект масштабу впроваджень. Унікальні інновації важко репродукуються, потребують повного циклу розробки і реалізації, що пов'язано із значними фінансовими і часовими витратами. Такі проекти доцільно перенаправити на державний рівень управління, якщо вони мають значну соціальну складову, або на рівень бізнес-структур, якщо оцінка їх ефективності і ризику задовольняє потреби бізнесу.

Таким чином, перший критерій поділяє проекти на два узагальнених агрегованих класи, до першого попадуть пріоритетні для регіону дифузні інновації, а до другого класу перейдуть інновації, реалізація яких на регіональному рівні у даний час вважається недоцільною. Для другого класу критерій першого фасету класифікації працює як «стоп-фактор». Слід відзначити, що критерії такого типу повинні бути розташовані першими у класифікаційній таблиці. Їх інше розташування призведе до зайвої роботи на попередніх шагах фасетного аналізу.

Наступний критерій – інноваційний потенціал, є ключовим, він має дві ознаки: радикальні та модифікуючі інновації і поділяє проекти на стратегічні і тактичні. Для кожного з новотворених агрегованих класів необхідно використовувати особливі схеми управління. Так, радикальні інновації потребують повного циклу розробки, а значить для їх реалізації необхідно задіяти цілий комплекс ресурсів, що супроводжують ці нововведення: капітальні, фінансові, людські тощо. Це більш складний варіант реалізації із значними витратами часу, тому і вимагає задіяти інструменти стратегічного управління.

Під час впровадження модифікаційних інновацій, коли інноваційний процес складається, як правило, з окремих стадій (неповний, мозаїчний цикл), доцільно застосовувати інструменти тактичного управління.

Третій критерій фасетної класифікації – повнота інноваційного процесу – теж ключовий, він дозволяє розділити стратегічні і тактичні регіональні інновації на пріоритетні і звичайні нововведення для регіонального інноваційного розвитку. Цей розподіл дозволяє уточнити по-

рядок і метод управління кожним новоствореним агрегованим класом проектів. Так, якщо радикальні інновації потребують неповного циклу розробки, вони відносяться до пріоритетних, тому що при значному інноваційному поштовху потребують менше витрат ресурсів і часу для свого впровадження, ніж радикальні інновації з повним циклом. Тобто неповний цикл робіт із впровадження інновації переводить її до класу пріоритетних усередині класу стратегічних і тактичних інновацій.

Останні два критерії у фасетному аналізі відносяться до критеріїв байдужості, тобто у всіх виділених агрегованих класах вони можуть приймати будь-яке можливе значення. Можливі варіанти повної або часткової байдужості. Ці критерії уточнюють характер нововведень за кожним проектом, тобто несуть відповідне інформаційне навантаження, необхідне для подальшого формування управлінського рішення.

Віднесення критеріїв до категорій стоп-фактору, ключового або байдужості може змінюватися у залежності від пріоритетів регіонального інноваційного розвитку. Ці пріоритети визначаються регіональними центрами координації інноваційної діяльності за результатами експертного опитування.

Правильність проведення фасетного аналізу підтверджується індексацією кожного отриманого агрегованого класу. Узагальнений індекс класу – це унікальна для кожного класу послідовність цифр, що відповідає значенням ознак у фасетах і порядку розташування критеріїв. Цифри індексу відокремлюються крапкою. Цифри критеріїв повної або часткової байдужості фіксуються у скобках, можливі їх значення перелічуються через кому. Остаточні результати фасетного аналізу наведені у табл. 1.

Індекс класу отриманий у результаті зчеплення (конкатенації) цифр, що відповідають значенню ознак за обраними п'ятьма критеріями класифікації.

Зрозуміло, що при цьому регіональні інноваційні проекти, перш за все, проходять процедуру фасетної класифікації, за результатами якої і отримують значення індексу класу. Після чого вже на етапі фасетного аналізу здійснюється розпізнавання індексу і віднесення проекту до одного із виділених агрегованих класів. Аналізуються тільки цифри індексу, що відповідають критеріям стоп-факторів або ключових факторів. У нашому випадку це перші три цифри п'ятизначного індексу, а саме d1 d2 d3. Дві останні цифри індексу агрегованого класу відносяться до факторів байдужості і не враховуються на етапі агрегації проектів.

Результати фасетного аналізу інноваційних проектів

Номер класу	Назва агрегованого класу	Узагальнений індекс агрегованого класу	Повний перелік індексів агрегованого класу	
Регіональні інноваційні проекти				
1	Стратегічні пріоритетні проекти	1.1.2.(1,2,3).(1,2,3)	1.1.2.1.1. 1.1.2.1.2. 1.1.2.1.3. 1.1.2.3.1. 1.1.2.3.2. 1.1.2.3.3.	1.1.2.2.1. 1.1.2.2.2. 1.1.2.2.3.
2	Стратегічні звичайні проекти	1.1.1.(1,2,3).(1,2,3)	1.1.1.1.1. 1.1.1.1.2. 1.1.1.1.3. 1.1.1.3.1. 1.1.1.3.2. 1.1.1.3.3.	1.1.1.2.1. 1.1.1.2.2. 1.1.1.2.3.
3	Тактичні пріоритетні проекти	1.2.2.(1,2,3).(1,2,3)	1.2.2.1.1. 1.2.2.1.2. 1.2.2.1.3. 1.2.2.3.1. 1.2.2.3.2. 1.2.2.3.3.	1.2.2.2.1. 1.2.2.2.2. 1.2.2.2.3.
4	Тактичні звичайні проекти	1.2.1.(1,2,3).(1,2,3)	1.2.1.1.1. 1.2.1.1.2. 1.2.1.1.3. 1.2.1.3.1. 1.2.1.3.2. 1.2.1.3.3.	1.2.1.2.1. 1.2.1.2.2. 1.2.1.2.3.
Інноваційні проекти позарегіонального рівня				
5	Стратегічні державні проекти	2.1.(1,2).(1,2,3).(1,2,3)	2.1.1.1.1. 2.1.1.1.2. 2.1.1.1.3. 2.1.1.3.1. 2.1.1.3.2. 2.1.1.3.3. 2.1.2.2.1. 2.1.2.2.2. 2.1.2.2.3.	2.1.1.2.1. 2.1.1.2.2. 2.1.1.2.3. 2.1.2.1.1. 2.1.2.1.2. 2.1.2.1.3. 2.1.2.3.1. 2.1.2.3.2. 2.1.2.3.3.
6	Тактичні бізнесові проекти	2.2.(1,2).(1,2,3).(1,2,3)	2.2.1.1.1. 2.2.1.1.2. 2.2.1.1.3. 2.2.1.3.1. 2.2.1.3.2. 2.2.1.3.3. 2.2.2.2.1. 2.2.2.2.2. 2.2.2.2.3.	2.2.1.2.1. 2.2.1.2.2. 2.2.1.2.3. 2.2.2.1.1. 2.2.2.1.2. 2.2.2.1.3. 2.2.2.3.1. 2.2.2.3.2. 2.2.2.3.3.

Для кожного агрегованого класу заздалегідь розробляються рекомендації відносно напряму подальших управлінських дій за проектами,

віднесеними до того чи іншого агрегованого класу. Такі регіональні стратегії дій наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Регіональні стратегії дій для агрегованих класів інноваційних проектів

№ класу	Назва класу	Назва стратегії управління	Загальні рекомендації по управлінню
1	Стратегічні пріоритетні проекти	Масштабне впровадження	Дуже важливі радикальні нововведення при неповному циклі впровадження (рідкісні випадки). Бажане визначення споріднених підприємств для дифузного впровадження. Доцільна організаційна та фінансова регіональна підтримка.
2	Стратегічні звичайні	Перспективне впровадження	Важливі проекти, розраховані на повний цикл впровадження. Потребують утворення консорціуму як тимчасового об'єднання науково-дослідних, проектних, будівельних та фінансових установ і організацій. Фінансування масштабне і потребує портфельних інвесторів. Доцільна регіональна підтримка для координації дій.
3	Тактичні пріоритетні	Швидке впровадження	Дуже важливі проекти при неповному циклі впровадження. Бажано формування кластеру підприємств, зацікавлених у впровадженні проекту. Фінансування із залученням інститутів спільного інвестування (ICI). Доцільна регіональна підтримка для координації дій.
4	Тактичні звичайні	Швидке доопрацювання	Проекти, що потребують певної доробки, після якої можуть перейти до класу пріоритетних. Рекомендації по залученню науково-дослідних або проектних організацій. Фінансування за рахунок підприємств – ініціаторів нововведень. З боку регіону – спостереження за розвитком подій.
5	Стратегічні державні	Презентація на державному рівні	Унікальні проекти із значним інноваційним потенціалом. Впровадження за умов відповідності державним пріоритетам. Доцільно утворення ПФГ для впровадження. Регіональна допомога у поданні відповідних документів на державний рівень.
6	Тактичні бізнесові	Моніторинг	Повна відповідальність бізнесу за впровадження проектів. З боку регіону – спостереження за розвитком проектних робіт.

Таким чином, після проведення фасетного аналізу проекти групуються в агреговані класи, що дозволяє визначитися із стратегією регіонального управління по кожному проекту. Подальша робота по створенню системи управління регіональним інноваційним розвитком пов'язана із уточненням цієї стратегії і, перш за все, у напрямку узгодження регіональних цілей з бізнес-інтересами суб'єктів господарювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Винери, Б. Фасетная классификация. Руководство по составлению отраслевых схем [Текст] / Б. Винери. – М.: Дело, 1970. – 73 с.
2. Блохин, Ю. И. Классификация и кодирование технико-экономической информации [Текст] / Ю. И. Блохин, Е. А. Панфилов. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
3. Савчук Л. М. Фасетна система класифікації лізингових угод [Текст] / Л. М. Савчук, І. В. Вишнякова // Академічний огляд. Економіка та підприємництво. – 2002. – № 2. – С. 46-51.

Надійшла до редколегії 23.06.2008.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 24

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерна верстка *В. В. Кузьменко*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Здано до набору 01.09.2008. Підписано до друку 01.09.2008. Формат 60×84 1/8.
Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 24,60.
Обл.-вид. арк. 25,44. Тираж 100 прим. Зам. № 1537. Вид. № 102.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, www.diitrvv.dp.ua, admin@diitrvv.dp.ua