

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

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

Випуск 31

Дніпропетровськ
2010

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

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

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

За загальною редакцією проф. О. М. ПШІНЬКА

Засновано в 2003 році

Випуск 31

Дніпропетровськ
2010

УДК 625.1+626.2
ББК 39.2
В 53

**ЗАСНОВНИК ТА ВИДАВЕЦЬ:
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 25.01.2010 р., протокол № 5

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *О. М. Пішійко*;
заступник головного редактора – доктор технічних наук *С. В. Мямлін*;
відповідальний секретар – кандидат технічних наук *І. П. Корженевич*

Члени редакційної колегії:

доктори технічних наук *Є. П. Блохін, В. І. Бобровський, Б. Є. Боднар, А. А. Босов, В. О. Браташ, І. О. Вакулєнко, Г. К. Гетьман, Л. В. Дубинець, І. В. Жуковицький, В. О. Заблудовський, Г. І. Загарій, М. І. Казакевич, С. М. Колесов, М. Л. Коротенко, М. О. Костін, М. Б. Курган, В. Д. Петренко, В. М. Пунагін, А. В. Радкевич, А. П. Разгонов, В. В. Рибкін, В. В. Скалозуб, В. С. Хандецький, Є. М. Шафіт*; доктори фізико-математичних наук *В. І. Гаврилюк, В. В. Кравець*; доктори хімічних наук *М. М. Біляєв, С. І. Нейковський, О. В. Федін*; доктор біологічних наук *А. С. Дворецький*; доктори економічних наук *Ю. С. Бараиш, С. В. Каламбет, В. І. Копитко, В. Д. Крамаренко, А. А. Покотілов*

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 31. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 302 с.
ISSN 1993-9175

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

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

**УДК 625.1+626.2
ББК 39.2**

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

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

ISSN 1993-9175

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

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

М. В. АТЛАС (КП «Київський метрополітен»), А. В. ДОНЧЕНКО, Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, Т. В. ШЕЛЕЙКО (ДП «УкрНДІВ», Кременчук) ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ВІЗКА ВАГОНА МЕТРОПОЛІТЕНУ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ.....	7
О. М. БОНДАРЄВ (ДПТ) ПРО ВПЛИВ ЧАСТОТ ЖИВЛЕННЯ СТАТОРНИХ ОБМОТОК АСИНХРОННИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ НА ДИНАМІЧНУ НАВАНТАЖЕНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ ЛОКОМОТИВІВ.....	11
Р. І. ВІЗНЯК, А. О. ЛОВСЬКА (УкрДАЗТ, Харків) ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЇХ ЗАЛІЗНИЧНО-ПОРОМНИМ СУДНОМ В УМОВАХ МОРСЬКОЇ КАЧКИ	25
О. О. МАРЕНИЧ (ДПТ) РОБОТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОНТАКТОРІВ ПРИ МІНІМАЛЬНОМУ ЗНАЧЕННІ НАПРУТИ КІЛ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	32

РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

Б. Є. БОДНАР, О. Б. ОЧКАСОВ, Д. В. ЧЕРНЯЄВ, О. Я. ДЕЦЮРА (ДПТ) МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ.....	36
М. І. КАПІЦА (ДПТ) ОРГАНІЗАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВІЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	41
Д. М. КОЗАЧЕНКО (ДПТ) МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕСУВАННЯМ РУХОМОГО СКЛАДУ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ	46
Р. Г. КОРОБЬЄВА (ДИИТ) ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА СТАНЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭВМ.....	50
В. В. МЯМЛИН (ДИИТ) КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВАГОНРЕМОНТНЫХ ДЕПО С АСИНХРОННЫМИ ГИБКИМИ ПОТОКАМИ РЕМОНТА ВАГОНОВ.....	55
В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, Днепропетровск) ИЕРАРХИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА	63
А. В. РАДКЕВИЧ, О. О. СТЕПАНЕНКО, І. М. ШОКА, С. О. ЯКОВЛЄВ (ДПТ) НАПРЯМИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ НЕПОРУШНИМИ ЗАПАСАМИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ У ПІДРОЗДІЛАХ ДЕРЖСПЕЦТРАНССЛУЖБИ	68
О. І. ТАРАНЕЦЬ (ДПТ) ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ НА ГІРКАХ	72

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

А. М. АФАНАСОВ (ДИИТ) УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ.....	77
Г. А. ДОМАНСКАЯ (ДИИТ) ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	81

Л. В. ДУБИНЕЦЬ, Р. В. КРАСНОВ, Д. В. УСТИМЕНКО, П. М. ЗАТОЛОКІН (ДІТ) НОВА СХЕМА ЗАХИСТУ ДВИГУНА КОМПРЕСОРА НА ЕЛЕКТРОПОЇЗДАХ СЕРІЇ ЕР2	85
А. А. КОЛБ (НГУ, Днепропетровск) АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ЕМКОСТНЫХ ЭНЕРГОАКОПИТЕЛЕЙ	89
П. Є. МИХАЛІЧЕНКО (ДІТ) МЕТОДИКА ВИБОРУ УСТАВКИ ШВИДКОДІЮЧИХ ВИМИКАЧІВ ФІДЕРІВ 3,3 кВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМИ СИСТЕМАМИ ЗАХИСТУ	95
А. М. МУХА, О. Ю. БАЛІЙЧУК (ДІТ) ВПЛИВ ПІДВИЩЕННЯ НАПРУГИ В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ВЕЛИЧИНУ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ	100
А. В. ПЕТРОВ, М. О. КОСТІН (ДІТ) НЕПРОДУКТИВНІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	106
О. А. СИДОРОВ, С. В. ЗАРЕНКОВ, А. В. ТАРАСЕНКО (ОмГУПС, Омск, Российская Федерация), Е. М. ДЕРБИЛОВ (Западно-Сибирская железная дорога, Российская Федерация) ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТОКОСЪЕМА В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЛЕТАХ СКОРОСТНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК	111
О. А. СИДОРОВ, И. Л. САЛЯ, В. В. ТОМИЛОВ (ОмГУПС, Омск, Российская Федерация) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТОКОСЪЕМА МОСКОВСКОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ	114
О. А. СИДОРОВ, С. А. СТУПАКОВ, И. Л. САЛЯ (ОмГУПС, Омск, Российская Федерация) ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА	119
В. Г. СИЧЕНКО (ДІТ) МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЛІНІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	123
 РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»	
Н. Н. БЕЛЯЕВ, А. В. РАДКЕВИЧ, В. М. ЛИСНЯК (ДІИТ) МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА БАЗЕ ПОЛЕВОЙ МОДЕЛИ	127
Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО (ДІИТ) АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	131
П. Б. МАШИХИНА (ДІИТ) МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ	135
А. Н. ПШИНЬКО, Н. Н. БЕЛЯЕВ, Л. В. ПОКУТНЕВА (ДІИТ) РАСЧЕТ ЗОНЫ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ	140
 РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»	
А. М. ОРЛОВСЬКИЙ, В. П. ГНАТЕНКО, К. В. МОЙСЕЄНКО (ДІТ) РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНОГО ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р65 МАРКИ 1/9 ПРОЕКТУ 65109Ж-01	144
В. В. РИБКІН, К. Л. КАЛЕНИК (ДІТ) ВПЛИВ ШИРИНИ КОЛІЇ В МЕЖАХ ПЕРЕВІДНОЇ КРИВОЇ ЗВИЧАЙНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ НА ВЗАЄМОДІЮ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ	153
 РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»	
В. Е. АРТЁМОВ, И. Г. МУДРАЯ (ДІИТ) ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ	157

И. К. БАДАЛАХА (ДИИТ) НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕСКОНЕЧНО ДЛИННЫХ УПРУГИХ МАССИВОВ РАЗЛИЧНОЙ ШИРИНЫ И ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ НА ЖЕСТКОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ИХ ПЛОСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ	161
С. В. КОЛЬЧИК (ДНУ ім. О. Гончара, Дніпропетровськ) ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ З ГЕОМЕТРИЧНИМИ НЕОДНОРІДНОСТЯМИ, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ ПІД ДІЄЮ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	173
Т. С. КРАВЧУНОВСЬКА (ПДАБА, Дніпропетровськ) РОЗВИТОК МЕТОДІВ ОЦІНКИ І ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ КОМПЛЕКСНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ	179
А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, В. Н. ГРЕБЕННИКОВ, А. С. ЩЕРБАК (ДИИТ) АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОСТЕКЛА.....	184
А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ) ПРИМЕНЕНИЕ АССОЦИИРОВАННЫХ МАТРИЦ К РАСЧЕТУ КОЛЕБАНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПЛАСТИН	188
Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО, Л. С. САВИН, В. Н. МАКАРОВА, П. А. ПШИНЬКО, Д. В. КОНОНОВ (ПГАСА, Днепропетровск) СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ В СИСТЕМЕ «СТЕКЛО – СТАЛЬ»	193
О. О. СТЕПАНЕНКО (Адміністрація Держспецтрансслужби, Київ) УТОЧНЕННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦІЄЇ СИСТЕМИ	198
П. Е. УВАРОВ (Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, Луганск), Т. С. КРАВЧУНОВСКАЯ (ПГАСА, Днепропетровск) ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАДИГМЫ ПРОЕКТНОЙ СИСТЕМОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ОРГАНИЗАЦИИ РЕСУРСА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	202

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

В. І. ГАВРИЛЮК, В. Ю. ДУБ, В. В. МАЛОВІЧКО (ДІТ) ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СТРИЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	209
Р. В. РИБАЛКА (ДІТ) ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК	214
И. О. РОМАНЦЕВ, В. И. ГАВРИЛЮК (ДИИТ) ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ	216
В. І. ЩЕКА, В. І. ГАВРИЛЮК (ДІТ) РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ВІД ТЯГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ.....	221

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

В. И. БОБРОВСКИЙ, В. В. МАЛАШКИН (ДИИТ) ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ПЛАНОВ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ	226
А. А. БОСОВ, Х. В. ДРЕБОТ (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ІНВЕСТУВАННЯ.....	232
Г. А. КРАМАРЕНКО, В. В. СКАЛОЗУБ, М. С. ЧЕРЕДНИЧЕНКО (ДИИТ) ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ВАГОННЫХ ПАРКАХ ОПЕРАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	240
В. В. СКАЛОЗУБ (ДИИТ), В. Вл. СКАЛОЗУБ (Днепропетровский государственный аграрный университет) РАЗВИТИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭКОНОМИКИ.....	249

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

І. О. ВАКУЛЕНКО, В. Г. АНОФРІЄВ, Ю. Л. НАДЕЖДІН (ДІПТ) ЗМІНА ТВЕРДОСТІ МЕТАЛУ ПО ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ПІСЛЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЗУНА	256
Л. І. ВАКУЛЕНКО (Придніпровська залізниця, Дніпропетровськ), Ю. Л. НАДЕЖДІН (ДІПТ) ОЦІНКА СТУПЕНЯ ЗНЕМИЩЕННЯ ПРИ ВІДПУСКУ ЗАГАРТОВАНОЇ КОЛІСНОЇ СТАЛІ	259
В. А. ЗАБЛУДОВСКИЙ, В. В. ДУДКИНА (ДИИТ) ЛОКАЛЬНОЕ ЛАЗЕРНО-СТИМУЛИРОВАННОЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ НИКЕЛЯ	262
Н. Н. МОРОЗ (Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ И СИЛЫ ТРЕНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ	266
В. Б. ЮДОВИНСКИЙ, С. В. КЮРЧЕВ, О. В. ПЕНЕВ, Ю. П. МИРНЕНКО, Р. А. БАКАРДЖИЕВ (Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь) УСТАНОВЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ИЗНОСА МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ ТИПА «ВАЛ – ВТУЛКА»	270

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

Н. В. АРХІРЕЙСЬКА (Академія митної служби України, Дніпропетровськ) ОЦІНКА ФІНАНСОВОГО СТАНУ МІСЦЕВИХ БЮДЖЕТІВ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ	273
А. С. БЛОХИНА (ДИИТ) ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ НОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	276
В. В. БОБИЛЬ (ДІПТ) РОЗГЛЯД МЕХАНІЗМУ ДЕПІНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ	283
С. Н. ВНУКОВА (РЦП УЗ), Н. В. ГНЕННИЙ, Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДИИТ) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНАНСОВОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В РАСЧЕТАХ ЗА МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРУЗОВЫЕ ПЕРЕВОЗКИ	289
О. М. ГНЕННИЙ (ДІПТ) ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ ЛІЦЕНЗІЇ НА ВИРОБНИЦТВО ПРОДУКЦІЇ	292
М. І. МІЩЕНКО (ДІПТ) СИСТЕМНИЙ ПІДХІД В ОБҐРУНТУВАННІ РІВНЯ ВИТРАТ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ	296

М. В. АТЛАС (КП «Київський метрополітен»), А. В. ДОНЧЕНКО, Ю. Я. ВОДЯННІКОВ,
Т. В. ШЕЛЕЙКО (ДП «УкрНДІВ», Кременчук)

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ВІЗКА ВАГОНА МЕТРОПОЛІТЕНУ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено результати аналізу умов експлуатації та причин пошкоджень рам візків вагонів метрополітену, дано оцінку отриманих результатів та висновки щодо надійності окремих елементів рам.

Приведены результаты анализа условий эксплуатации и причин повреждений рам тележек вагонов метрополитена, дана оценка полученных результатов и сделаны выводы касательно надежности отдельных элементов рам.

The results of analysis of operation conditions and causes for damaging of subway carriage underframes are presented, the assessment of results obtained is given, and the conclusions on reliability of separate underframe elements are made.

Об'єктом досліджень є рама моторного двовісного повідкового візка вагонів метрополітену виробництва Митіщинського машинобудів-

ного заводу, що являє собою суцільнозварну Н-подібну конструкцію, до якої кріпляться всі вузли візка (рис. 1).

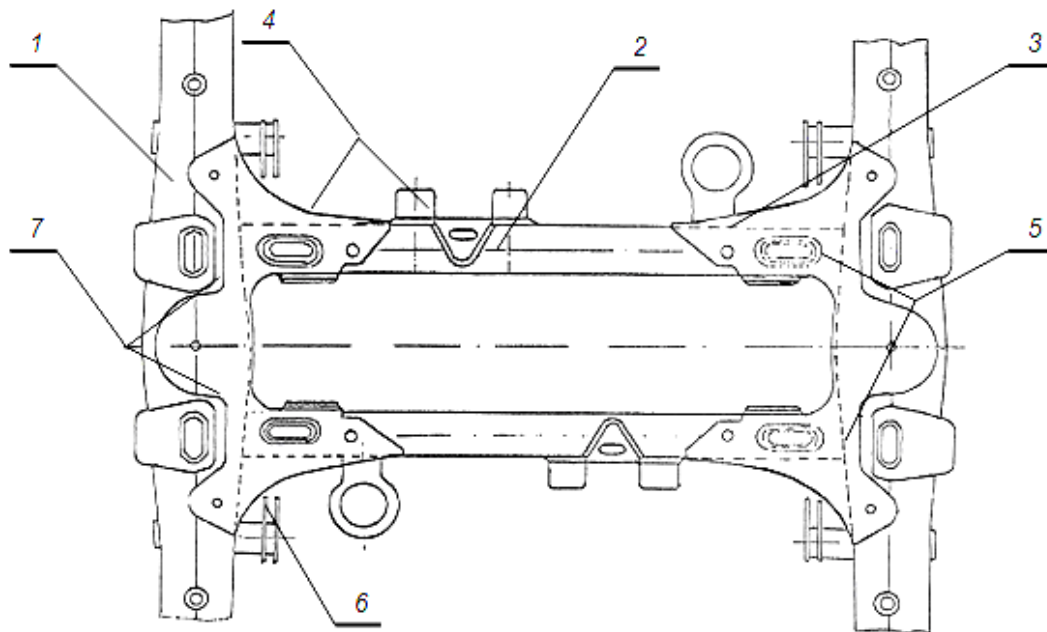


Рис. 1. Конструкція рами моторного двовісного повідкового візка вагонів метрополітену:
1 – поздовжня балка; 2 – поперечна балка; 3 – листовая косинка; 4 – кронштейни підвішування тягових двигунів; 5 – кронштейни підвішування букових повідків; 6 – кронштейн підвішування редуктора;
7 – наличники центрального прорізу

Дві поздовжні та дві поперечні балки конструкції рами з'єднані в стик, місця їх з'єднань перекриті листовими косинками. На балках розташовані елементи кріплення важелів гальмівної передачі, повідків буксового підвішування, гідроамортизаторів, гальмівних циліндрів, тягових двигунів, редукторів тощо. Наличниками центрального прорізу на центральну

балку, під'ятник, п'ятник і шворневу балку кузова здійснюється передача тягових і гальмівних зусиль від рами візка на раму кузова вагона.

Для дослідження з метою визначення надійності елементів конструкції рам візків були надані карти реєстрації ремонтів рам візків за формою Київського метрополітену.

Встановлено, що за свій життєвий цикл товстінні елементи рами, поздовжні та поперечні балки не вичерпують несівної спроможності та можуть експлуатуватися понад призначений термін служби, а елементи кріплення різних вузлів візка – кронштейни підвішування тягових двигунів, редукторів, буксових повід-

ків тощо – потребують поновлення згідно рекомендацій, наведених в [1 – 4].

Попередній аналіз проведених ремонтів рам візків (рис. 2, 3) дав можливість визначитися з елементами конструкції рами, які частіше потребують ремонту.

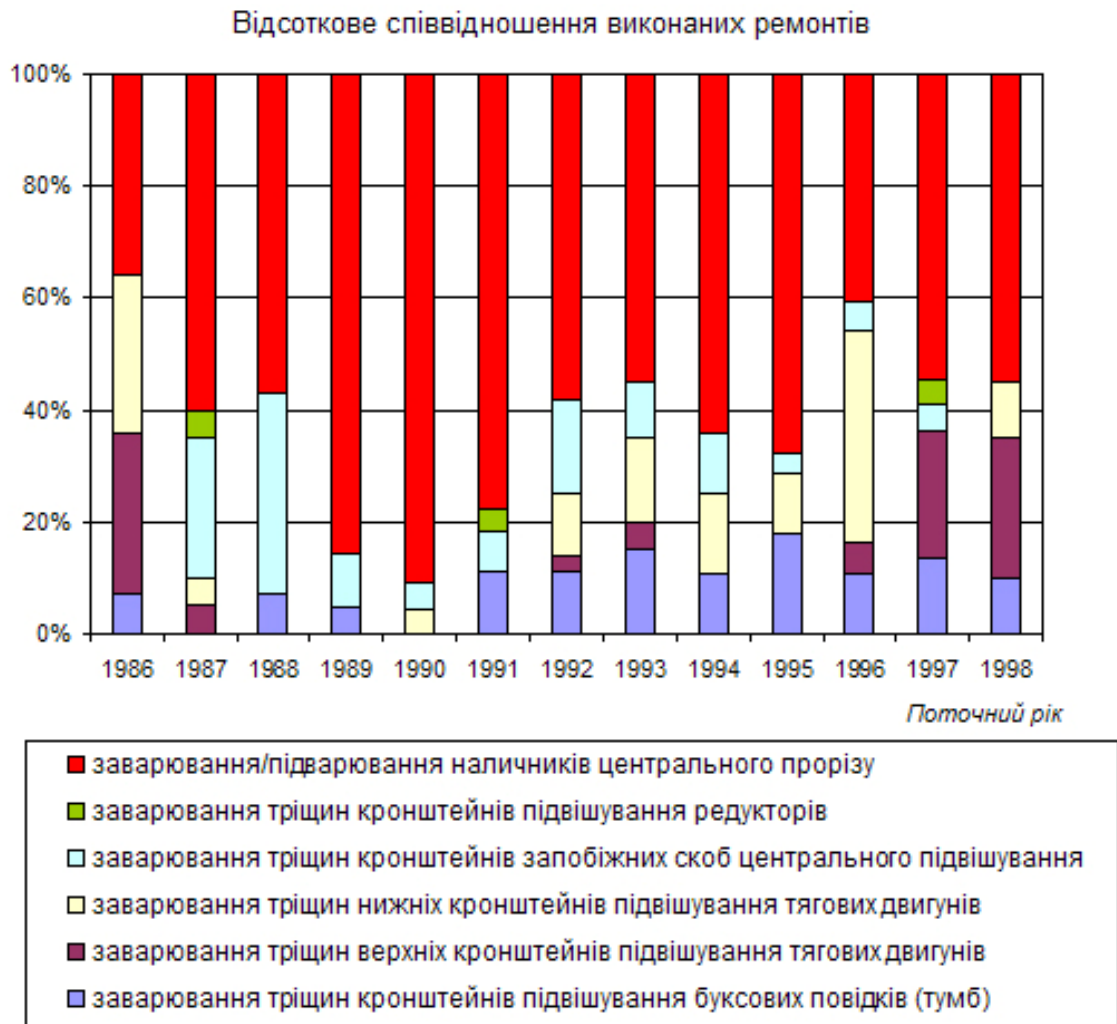


Рис. 2. Аналіз виконаних ремонтів елементів рам візків вагонів метрополітену з 1985 року по 1998 рік

Предметом досліджень стали наступні елементи рами візка:

- кронштейни підвішування буксових повідків (тумби);
- верхні кронштейни підвішування тягових двигунів;
- нижні кронштейни підвішування тягових двигунів;
- кронштейни запобіжних скоб центрального підвішування;
- наличники центрального прорізу.

Виходячи з умов експлуатації, всі елементи конструкції рами візка, що розглядалися на предмет надійності, були розподілені на групи

за навантаженнями, які вони зазнають під час експлуатації. Так, наприклад, повідками буксового підвішування здійснюється передача тягових та гальмівних зусиль від колісних пар на кронштейни рами візка. Під час руху повідки зазнають одночасну дію різних навантажень. Вони згинаються у вертикальній площині при просадці рами візка, пружно деформуються в поперечному напрямленні під час проходження візками кривих ділянок шляху, розтягуються та стискаються при тягових і гальмівних навантаженнях. Всі чотири кронштейни буксових повідків (тумби), встановлені на рамі, зазнають однакового навантаження в експлуатації.

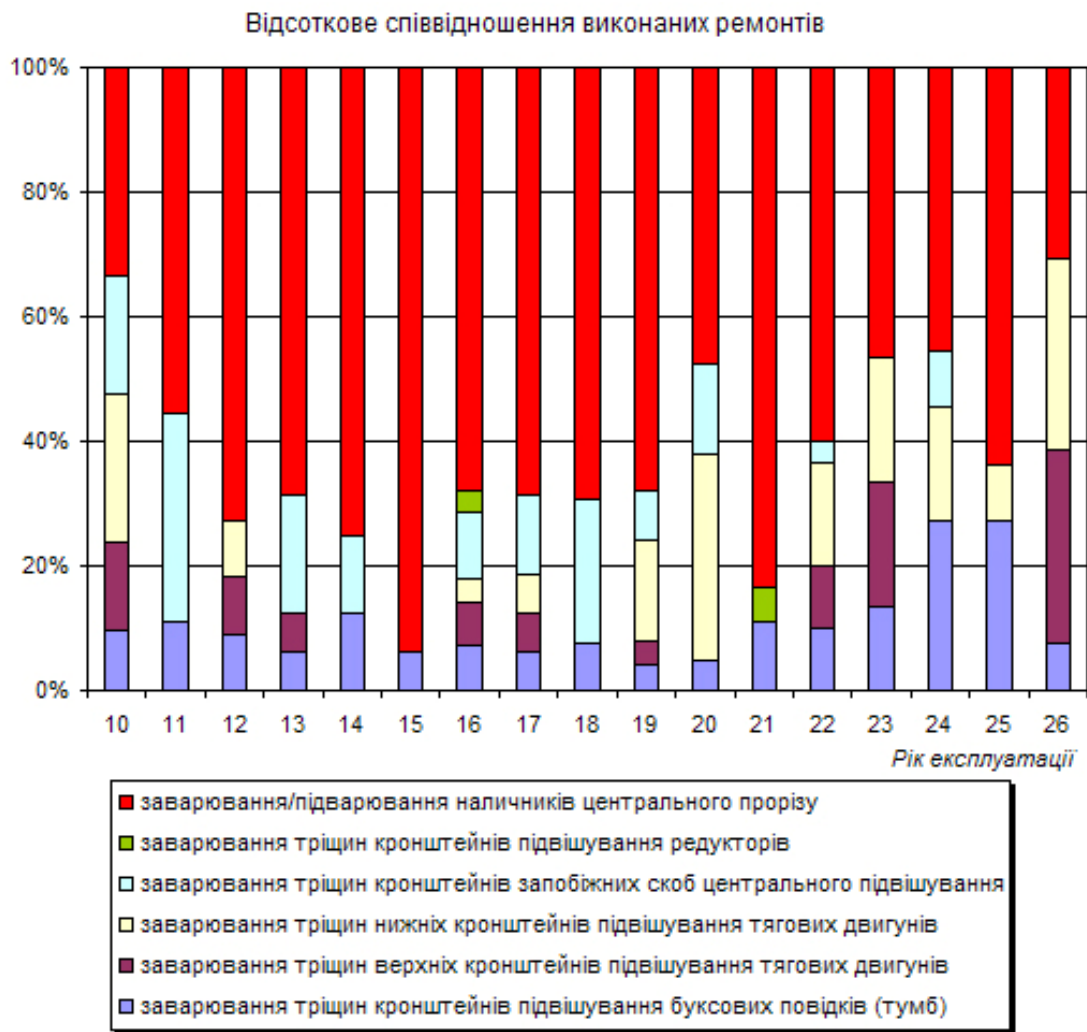


Рис. 3. Аналіз виконаних ремонтів елементів рам візків вагонів метрополітену за роками експлуатації

Кріплення тягового двигуна до рами візка здійснюється шляхом навішування його на кронштейни (верхні та нижні) поперечної балки, площі прилягання яких конструктивно співпадають із площинами кріплення двох верхніх та одного нижнього приливів основи двигуна. На кожному візку встановлюється два тягових двигуна (на кожен колісний пар). Для їх кріплення на рамі розташовано 4 верхніх і 2 нижніх кронштейни підвішування тягових двигунів. Експлуатаційні навантаження верхніх і нижніх кронштейнів неоднакові, і визначати надійність цих елементів необхідно окремо.

Для запобігання падінню на колію під час руху, у разі відриву елементів підвішування, на спеціальних кронштейнах поперечних балок рами закріплені запобіжні скоби, по 2 на кожний візок.

Підвішування редуктора колісної пари здійснюється до спеціального кронштейну, ввареного в поперечну балку рами візка. За допомо-

гою деталей підвішування корпус редуктора колісної пари фіксується в певному положенні, аби забезпечити співвісність вала тягового двигуна і вала-шестерні. Кількість редукторів (2 штуки) на рамі обумовлена кількістю колісних пар візка. Для їх кріплення на рамі візка розташовано 2 кронштейни підвішування.

Наличниками центрального прорізу на центральну балку, підп'ятник, п'ятник і шворневу балку кузова здійснюється передача тягових і гальмівних зусиль від рами візка на раму кузова вагона. На рамі візка розташовано 4 наличники центрального прорізу прямокутної форми.

Виходячи з умов експлуатації, встановлено, що:

– за браком інформації щодо початку експлуатації, при оцінці надійності елементів рам візків за початок експлуатації слід приймати час виконання їм капітального ремонту першого об'єму (КР-1);

– наприкінці призначеного терміну експлуатації візка (16 років згідно конструкторської документації) товстостінні елементи його рами, подовжні та поперечні балки не вичерпують своєї несівної спроможності і можуть експлуатуватися понад призначений термін служби;

– всі елементи кріплення сприймають різнонаправлену дію сил, і основним видом їхнього пошкодження (відмови) є тріщини зварних швів, іноді з переходом на основний метал (рис. 4);



Рис. 4. Типове пошкодження кронштейнів буксових повідків

– для оцінки можливості подовження терміну служби візкам понад нормативний шляхом виконання капітального ремонту другого об'єму (КР-2), слід дослідити надійність рам після виконання їм вказаного ремонту;

– основною причиною виникнення тріщин в елементах рами візка є втомленість металу, що виникає при роботі рами в умовах знакоперемінних навантажень та її довготривалої експлуатації;

– тривалість міжремонтного пробігу прямо пов'язана з якістю технології ремонту, виконання зварних швів, кількістю та якістю запасних частин, матеріалу тощо. Аналіз якості тех-

нології ремонту дозволить визначити ті складові, що потребують удосконалення.

На підставі даних статистичного матеріалу було виконано оцінку надійності окремих конструктивних елементів рам візків вагонів метро залежно від терміну експлуатації після виконаного ремонту КР-1 та КР-2, яка показала, що:

– експлуатацію рам візків вагонів метрополітену з вичерпаним терміном служби може бути подовжено за умови їх задовільного технічного стану, аби витрати на поновлення втраченої несівної спроможності та динамічні показники не вийшли за межі економічної доцільності необхідного ремонту;

– експлуатація візків із подовженим терміном служби потребує більш ретельного додержання правил утримання та пильного нагляду за їх поведінкою в експлуатації;

– менш надійними елементами рам візків є кронштейни підвішування тягових двигунів, редукторів, буксових повідків, що зазнають різнонаправлену дію сил, та наличники центрального прорізу, через які здійснюється передача тягових і гальмівних зусиль від рами візка на раму кузова вагона.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Донченко, А. В. Дослідження технічного стану та визначення залишкового ресурсу вагонів метрополітену, які знаходяться в експлуатації більше 31 року, з метою продовження строку їх експлуатації [Текст] / А. В. Донченко / Держ. Український науково-дослідний ін-т вагонобудування. – Матеріали по темі 99.99.1.072 дог 659. – т. 1. – Кременчук, 1999. – 61 с.
2. Головки, Л. А. Результаты технического диагностирования вагонов метро с целью продления срока их службы [Текст] / Л. А. Головки, Ю. О. Холод, А. А. Швеце // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х., 2005. – С. 42-43.
3. Шевченко, В. Д. Техническое диагностирование объектов повышенной опасности [Текст] / В. Д. Шевченко, А. Н. Смирнов, В. Т. Пшеничный // Безопасность труда в промышленности. – 1996. – № 10. – С. 5-11.
4. Хапонен, Н. А. Оценка остаточного ресурса железнодорожных цистерн для перевозки криогенных жидкостей [Текст] / Н. А. Хапонен, В. Н. Бырин, В. Ф. Безверхий // Безопасность труда в промышленности. – 1998. – № 7. – С. 14-19.

Надійшла до редколегії 14.01.2010.

Прийнята до друку 19.01.2010.

ПРО ВПЛИВ ЧАСТОТ ЖИВЛЕННЯ СТАТОРНИХ ОБМОТОК АСИНХРОННИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ НА ДИНАМІЧНУ НАВАНТАЖЕНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ ЛОКОМОТИВІВ

У статті наведено результати досліджень з визначення рівня навантаженості елементів тягового привода в декотрих умовах експлуатації, коли значення частот змінювання струмів живлення статорних обмоток розташовані в докритичній та позакритичній зонах для двох видів тягової передачі.

В статье приведены результаты исследований по определению уровней нагруженности элементов тягового привода в некоторых условиях эксплуатации, когда значения частот изменения токов питания статорных обмоток находятся как в докритической, так и в закритической зонах для двух типов тяговой передачи.

The results of studies on determination of loading level of tractive drive elements in some operating conditions, when the values of frequencies of the change of feeding currents of stator windings are to be obtained in both sub-critical and ultracritical zones for two types of the tractive gear are presented in the paper.

Дана робота присвячена проведенню досліджень з визначення рівнів динамічної навантаженості елементів двох типів тягових приводів під час: стаціонарного руху в режимі тяги; аварійних ситуаціях коротких замикань в ланцюгах живлення статорних обмоток асинхронних тягових двигунів; в умовах зриву на буксування колісних пар для випадків, коли частота змінювання струмів, що живлять статорні обмотки, буде знаходитися як в докритичній $\omega_r < \omega_{r\text{кр}}$, так і в позакритичній $\omega_r > \omega_{r\text{кр}}$ зонах.

Розглянемо спрощені співвідношення, які надають можливість визначати найбільші значення електромагнітного моменту та відповідні значення критичної частоти $\omega_{r\text{кр}}$. Якщо прийняти, що процеси в асинхронному трифазному двигуні можна вивчати за допомогою математичної двофазної машини, живлення якої забезпечується напругою з ідеальною синусоїдальною формою [1 – 3], електромагнітний момент буде визначатися за формулою:

$$T_{\text{ем}} = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \operatorname{Re}(j \cdot \bar{\psi}_s^* \cdot \bar{\psi}_r). \quad (1)$$

В цьому рівнянні: $T_{\text{ем}}$ – електромагнітний момент; p – кількість пар полюсів; L_m , L_s , L_r – параметри еквівалентної схеми заміщення АТД; $\bar{\psi}_s^*$ – комплексносполучена величина потокозчеплення статорних обмоток; $\bar{\psi}_r$ – комплексна величина потокозчеплення ротор-

них обмоток; Re – дійсна частина відповідного добутку; j – уявна одиниця. Для знаходження критичної частоти $\omega_{r\text{кр}}$ отримаємо формулу визначення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ за допомогою амплітудного значення фазного струму $\bar{I}_s$, кутової швидкості ротора ω_r та параметрів еквівалентної схеми заміщення АТД. При цьому значення струму роторних обмоток будемо визначати за допомогою струму статорних обмоток:

$$\bar{I}_r = - \frac{L_m}{(L_r + \frac{R_r}{j \cdot \omega_s \cdot s})} \cdot \bar{I}_s. \quad (2)$$

Потокозчеплення статорних $\bar{\psi}_s$ та роторних $\bar{\psi}_r$ обмоток будуть визначатися наступним чином:

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_s^* &= \bar{I}_s \cdot (L_s - \frac{L_r \cdot L_m^2 \cdot \omega_s^2 \cdot s^2}{R_r^2 + \omega_s^2 \cdot L_r^2 \cdot s^2} - \\ &- j \cdot \frac{L_m^2 \cdot \omega_s \cdot s \cdot R_r}{R_r^2 + \omega_s^2 \cdot L_r^2 \cdot s^2}); \\ \bar{\psi}_r &= \frac{R_r \cdot L_m}{R_r^2 + \omega_s^2 \cdot L_r^2 \cdot s^2} \cdot \bar{I}_s \cdot (R_r - j \cdot \omega_s \cdot s \cdot L_r). \end{aligned} \quad (3)$$

Після підстановки (3) в (1) та відповідних перетворень отримаємо вираз для визначення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$:

$$T_{\text{ем}} = \frac{3}{2} p \cdot \frac{L_m^2 \cdot \omega_r \cdot R_r}{(R_r^2 + \omega_r^2 L_r^2)} \cdot I_{\text{см}}^2. \quad (4)$$

Похідна електромагнітного моменту T_{em} по частоті ω_r має вигляд:

$$\frac{dT_{em}}{d\omega_r} = \frac{3}{2} p \cdot L_m^2 \cdot R_r \cdot I_{sm}^2 \cdot \frac{R_r^2 - \omega_r^2 \cdot L_r^2}{(R_r^2 + \omega_r^2 \cdot L_r^2)^2}. \quad (5)$$

Дорівнюючи нулю похідну $\frac{dT_{em}}{d\omega_r} = 0$, отримаємо,

що $\omega_{кр} = \frac{R_r}{L_r}$. При такому значенні $\omega_{кр}$

найбільше значення електромагнітного моменту буде визначатися за співвідношенням:

$$T_{em}^{max} = \frac{3}{4} p \cdot \frac{L_m^2}{L_r} \cdot I_{sm}^2. \quad (6)$$

За умови однаковості струмів статора і при використанні в якості джерела живлення статорних обмоток автономного інвертора струму (АІС) значення $\omega_{кр}$ та T_{em}^{max} будуть суттєво меншими порівняно з використанням інвертора напруги (АІН). Отримані вирази надають можливість визначати як початкове значення електромагнітного моменту T_{em} , так і критичної частоти $\omega_{кр}$, що використовується під час проведення чисельних розрахунків моделювання різних експлуатаційних умов в роботі тягового привода локомотива.

Під час проведення чисельних розрахунків моделювання вищезначених режимів було розглянуто локомотиви, в яких використовується як індивідуальний, так і груповий тягові

приводи з асинхронними тяговими двигунами. Вищезначені режими руху моделювалися стосовно локомотивів, які мають два двовісні візки. Було розглянуто варіанти використання: індивідуального тягового привода, в якому тяговий двигун має опорно-осьове підвішування, а тягове зусилля на колісні пари передається за допомогою двох тягових редукторів з опорно-осьовим підвішуванням; групового тягового привода з передачею тягового зусилля від тягового двигуна на дві колісні пари одного візка.

Розрахункові схеми елементів механічної частини наведено на рис. 1 – 3, а відповідні математичні моделі взаємодії цих елементів при реалізації тяги, а також математична модель, яка моделює змінювання відповідних процесів у електричній частині, приймалися саме такими, як і в роботах [3 – 5].

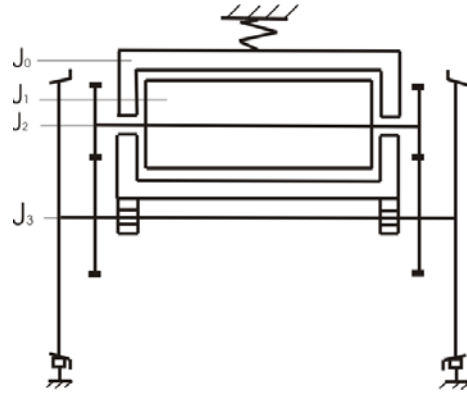


Рис. 1. Схематичне зображення основних елементів тягового привода з опорно-осьовим способом підвішування тягового двигуна (тяговий привод першого класу)

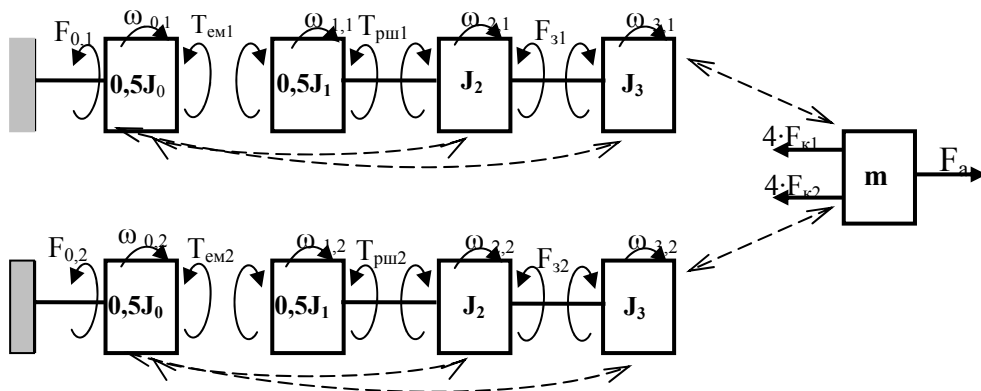


Рис. 2. Кінематична схема розташування елементів тягового привода з опорно-осьовим способом підвішування тягового двигуна (тяговий привод першого класу) для дослідження крутильних коливань

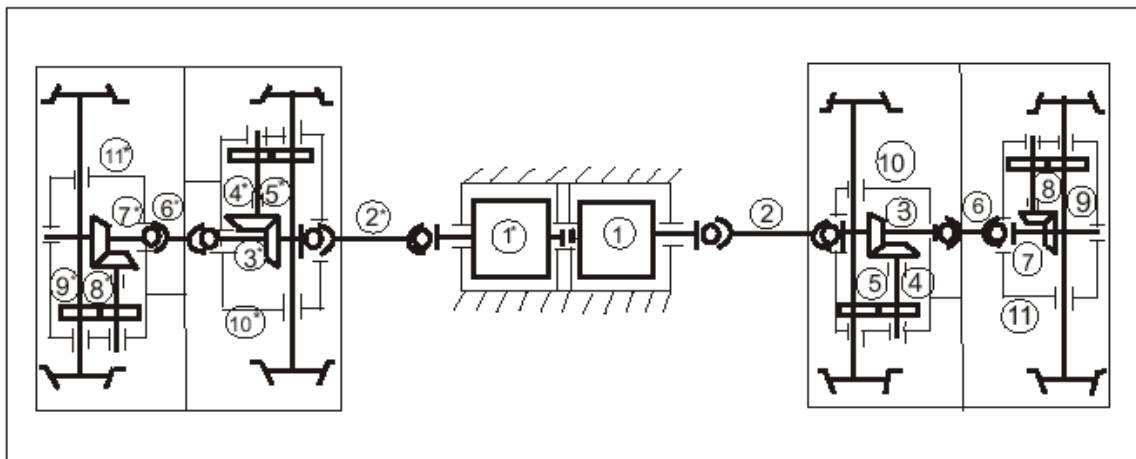


Рис. 3. Схема розташування основних елементів групового тягового привода

На цих рисунках літерами позначено наступне: J_i – моменти інерції відповідних елементів при їх обертальних коливаннях; F_a – зусилля, що створюється у поглинаючому апараті автозчепу при взаємодії локомотива зі складом вагонів поїзда; F_{ki} – поздовжні складові зусиль взаємодії коліс колісних пар з рейками; ω_i – кутові швидкості обертального руху елементів тягового привода при їх коливаннях; $T_{i,j}$ – моменти у відповідних еквівалентних зв'язках з'єднань елементів тягової передачі. Параметри математичних моделей взаємодії наведених на рис. 1 – 3 елементів приймалися такими, як і в роботах [3 – 5], а залежності зусиль від відповідних відносних деформацій та ковзань на контакті взаємодії колеса з рейкою – як в роботах [3 – 6].

Під час проведення розрахунків з визначення динамічної навантаженості приймалися швидкості руху, за яких створюються найбільші значення моментів та зусиль. Враховуючи те, що рівень динамічної навантаженості також залежить від співвідношення частоти обертання електромагнітного поля статора та частоти обертання ротора, вивчалася навантаженість при частотах, які є як меншими, так і більшими деяких критичних значень, що відповідають створенню екстремальних величин електромагнітного моменту T_{em} .

У відповідності до розрахункових схем (рис. 1, 2) та розроблених математичних моделей [3 – 6] було отримано результати чисельних розрахунків моделювання вищезазначених режимів, які можуть створюватися в умовах експлуатації. Результати цих розрахунків для ін-

дивідуального тягового привода наведено на рис. 4 – 22.

На рис. 4 наведено найбільші значення електромагнітного моменту T_{em} при двофазних та трифазних коротких замиканнях за умови, що тяговий привод індивідуальний з двосторонньою передачею тягового моменту та тягові двигуни живляться струмами з використанням імпульсної модуляції. На цьому рисунку і далі праворуч у стовпчику наведені літери означають: **2ф, 3ф** – двофазне та трифазне замикання; **нз** – значення моментів в момент часу перед коротким замиканням. Привернемо увагу також на те, що на цих рисунках виділено моменти часу, при яких створюються досить великі короточасні значення ударних електромагнітних моментів.

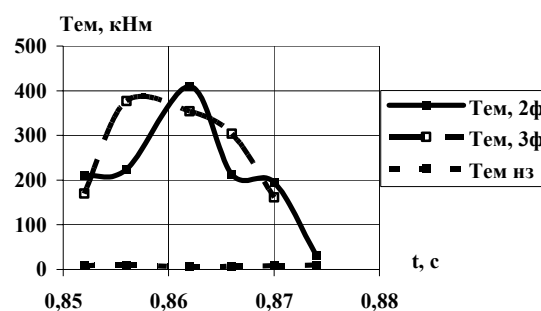


Рис. 4. Найбільші значення електромагнітного моменту T_{em} при двофазних та трифазних коротких замиканнях ($\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{кр} = 1,5$ 1/с, $v = 30$ км/год)

На рис. 5 наведено результати розрахунків у ситуації, подібній до наведеної на рис. 4, але при цьому тягові двигуни живляться струмами

з використанням широтно-імпульсної модуляції.

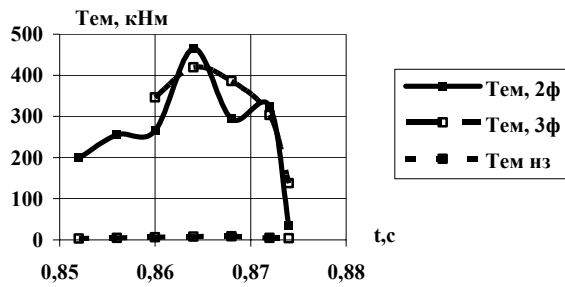


Рис. 5. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ при двофазних та трифазних коротких замиканнях ($\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{\text{кр}} = 1,5$ 1/с, $v = 30$ км/год)

На рис. 6 та 7 наведено найбільші значення крутного моменту в еквівалентному з'єднанні ротор-шестерня $T_{\text{рш}}$, який створюється під час двофазних та трифазних коротких замикань при живленні струмами, що змінюються за імпульсною (рис. 6) та широтно-імпульсною модуляцією (рис. 7) відповідно. На цих рисунках і далі літери **ім** та **шім** означають, що використовується імпульсна, або широтно-імпульсна модуляція.

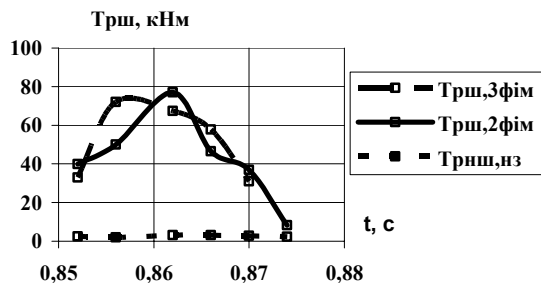


Рис. 6. Найбільші значення моменту $T_{\text{рш}}$ при двофазних та трифазних коротких замиканнях ($\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{\text{кр}} = 1,5$ 1/с, $v = 30$ км/год)

На рис. 8 та 9 наведено найбільші значення зусиль $F_{\text{ш}}$ взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора під час двофазних та трифазних коротких замикань при живленні струмами, які змінюються за імпульсною (рис. 8) та широтно-імпульсною модуляцією (рис. 9), відповідно.

З наведених результатів маємо, що найбільші рівні динамічних значень електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ досягаються при створенні двофазних коротких замикань та дорівнюють 400 та 460 кНм при використанні імпульсної та широтно-імпульсної модуляції, відповідно. Звернемо

увагу на те, що вказані величини відповідають піковим значенням, які діють протягом дуже короткого часу.

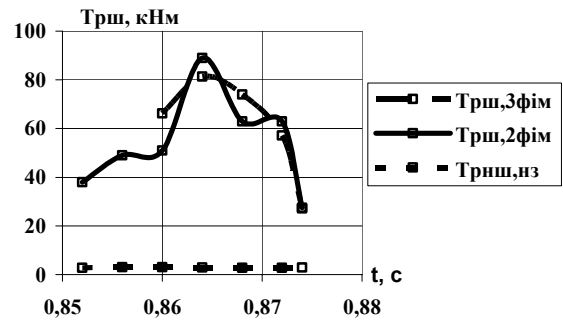


Рис. 7. Найбільші значення моменту $T_{\text{рш}}$ при двофазних та трифазних коротких замиканнях ($\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{\text{кр}} = 1,5$ 1/с, $v = 30$ км/год)

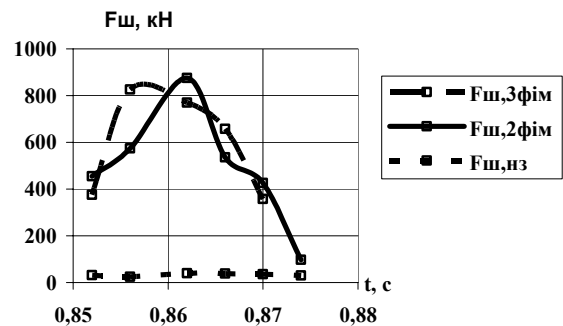


Рис. 8. Найбільші значення зусиль взаємодії $F_{\text{ш}}$ зубчастої передачі тягового редуктора при двофазних та трифазних коротких замиканнях ($\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{\text{кр}} = 1,5$ 1/с, $v = 30$ км/год)

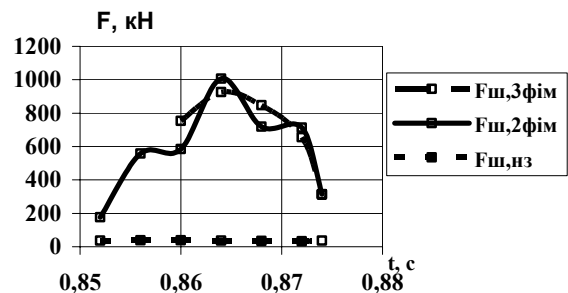


Рис. 9. Найбільші значення зусиль $F_{\text{ш}}$ взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора при двофазних та трифазних коротких замиканнях ($\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{\text{кр}} = 1,5$ 1/с, $v = 30$ км/год)

Далі наведено результати розрахунків з моделювання режимів коротких замикань у випадках, коли частота обертання електромагнітного поля вище за величину критичної частоти обертання ротора $\omega_r > \omega_{\text{кр}}$.

На рис. 10 та 11 наведено найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{\text{рш}}$ при двофазних та трифазних коротких замиканнях та живленні струмами, які змінюються за імпульсною (рис. 10) та широтно-імпульсною модуляцією (рис. 11), відповідно.

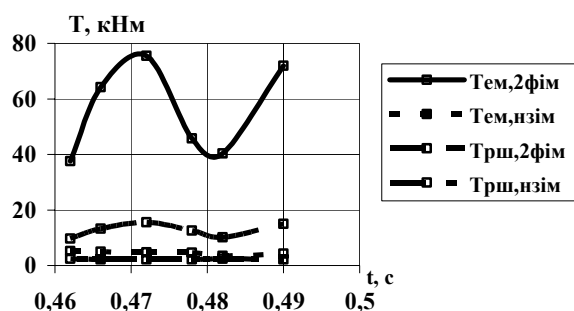


Рис. 10. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{\text{рш}}$ при двофазних коротких замиканнях ($\omega_r = 3,11$ 1/с, $\omega_{\text{ркр}} = 1,5$ 1/с, $v = 20$ км/год)

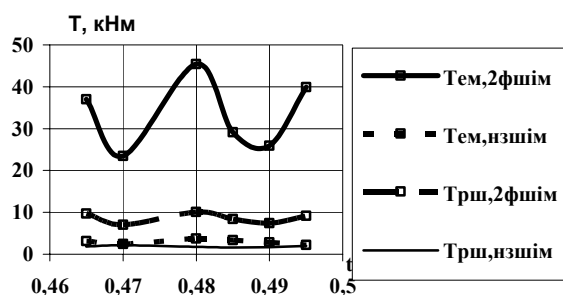


Рис. 11. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{\text{рш}}$ при двофазних коротких замиканнях ($\omega_r = 3,11$ 1/с, $\omega_{\text{ркр}} = 1,5$ 1/с, $v = 20$ км/год)

На рис. 12 та 13 наведено значення найбільших величин зусиль взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора під час коротких замикань у випадку, коли частота $\omega_r > \omega_{\text{ркр}}$, та живленні обмоток статора струмом з використанням імпульсної (рис. 12), або широтно-імпульсної (рис. 13) модуляції, відповідно.

На рис. 14 наведено найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{\text{рш}}$ в залежності від швидкості руху при короткому

трифазному замиканні, $\omega_r > \omega_{\text{ркр}}$, живлення обмоток статора струмом, який змінюється за синусоїдальною формою. На цих рисунках і далі у стовпчику праворуч літери **сін** означають, що живлення статорних обмотки АТД забезпечується струмом, який змінюється за синусоїдальною формою.

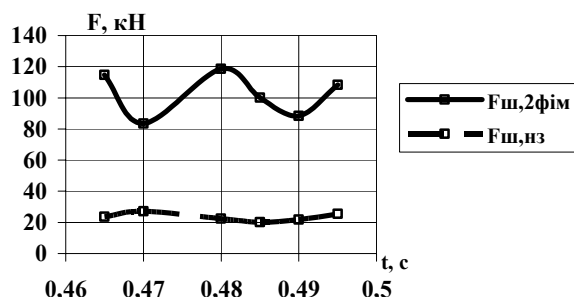


Рис. 12. Найбільші значення зусиль $F_{\text{ш}}$ взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора при двофазних коротких замиканнях ($\omega_r = 3,11$ 1/с, $\omega_{\text{ркр}} = 1,5$ 1/с, $v = 20$ км/год)

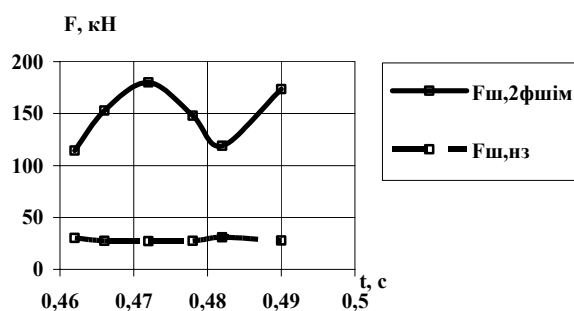


Рис. 13. Найбільші значення зусиль $F_{\text{ш}}$ взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора при двофазних коротких замиканнях ($\omega_r = 3,11$ 1/с, $\omega_{\text{ркр}} = 1,5$ 1/с, $v = 20$ км/год)

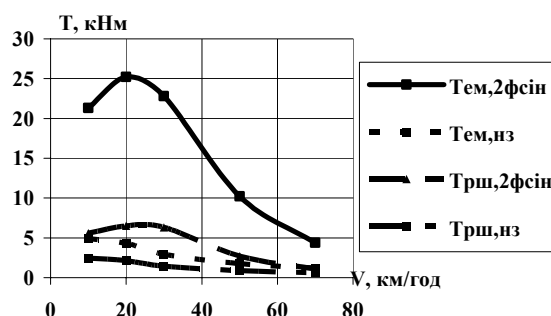


Рис. 14. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{\text{рш}}$ при короткому трифазному замиканні, $\omega_r > \omega_{\text{ркр}}$

Порівнювання процесів змінювання електромагнітного моменту $T_{ем}$, які наведено на рис. 4, 5, 10 та 14 та відповідають випадкам коротких замикань, свідчать, що вони суттєво відрізняються як якісно, так і кількісно в залежності від виду живлення статорних обмоток АТД. Найменші значення створюються при живленні статорних обмоток струмами з ідеальною синусоїдальною формою.

На рис. 15 наведено найбільші значення зусиль взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора $F_{ш}$ та поздовжньої складової зусилля на контакті колесо–рейка F_k при короткому трифазному замиканні, $\omega_r > \omega_{кр}$, живлення обмоток статора забезпечується струмом, який змінюється за синусоїдальною формою.

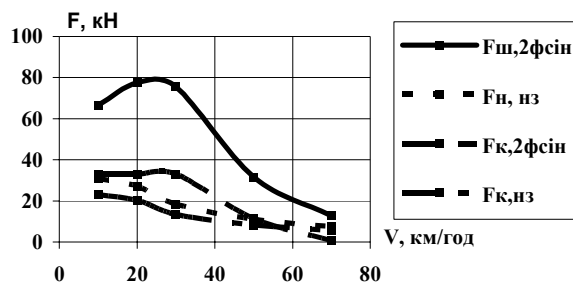


Рис. 15. Найбільші значення зусиль $F_{ш}$ взаємодії зубчастої передачі тягового редуктора та поздовжньої складової зусилля на контакті колесо–рейка при короткому трифазному замиканні, $\omega_r > \omega_{кр}$

На рис. 16 наведено найбільші значення електромагнітного моменту $T_{ем}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{рш}$ при короткому двофазному замиканні, $\omega_r > \omega_{кр}$, живлення обмоток статора забезпечується струмом широтно-імпульсної модуляції.

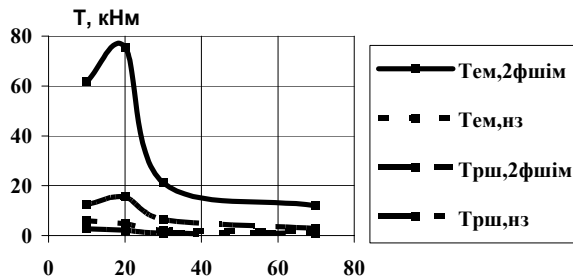


Рис. 16. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{ем}$ та моменту в еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{рш}$ при короткому двофазному замиканні, $\omega_r > \omega_{кр}$

На рис. 17 та 18 наведено найбільші значення фазних струмів I_s статорних обмоток в залежності від швидкості руху, які створюються під час коротких замикань при умові, що частота живлення $\omega_r > \omega_{кр}$. Рис. 17 відповідає випадку живлення статорних обмоток АТД від ідеального джерела струмом, який змінюється за синусоїдальною формою, а рис. 18 – випадку живлення обмоток статора струмом з використанням широтно-імпульсної та імпульсної модуляції.

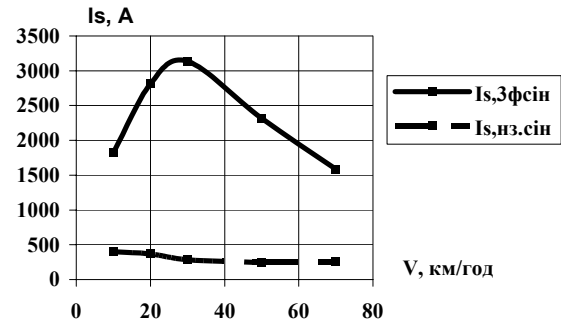


Рис. 17. Найбільші значення фазних струмів I_s статорних обмоток при короткому трифазному замиканні, $\omega_r > \omega_{кр}$

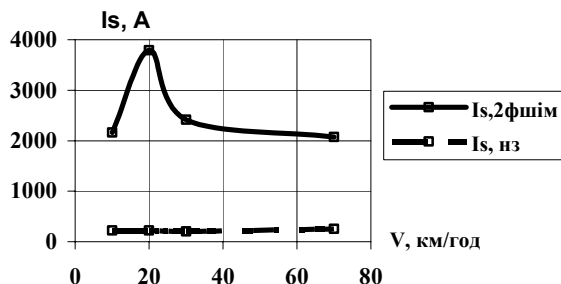


Рис. 18. Найбільші значення фазних струмів I_s статорних обмоток при короткому трифазному замиканні, $\omega_r > \omega_{кр}$

На рис. 19 – 22 наведено результати з моделювання процесів буксування.

На рис. 21 наведено залежності найбільших значень моменту у еквівалентному з'єднанні ротор–шестерня $T_{рш}$ від швидкості руху при буксуванні електровоза під час його наїзду на дільницю із замащеною поверхнею кочення рейок. Цифри у стовпчику (0,5; 1 та 2), поряд із наведеними графіками, вказують на відповідну довжину змащеної поверхні в метрах. Лінія з позначенням (ст) відповідає результатам при стаціонарному режимі руху.

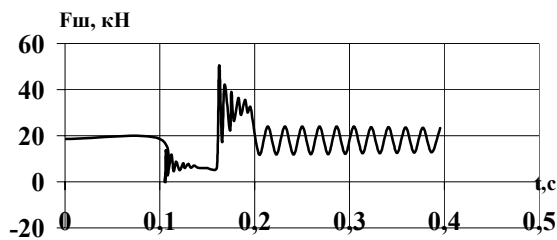


Рис. 19. Процес змінювання зусиль у з'єднанні ротор-шестерня $T_{рш}$ при зриві на буксування та поверненні у режим тяги

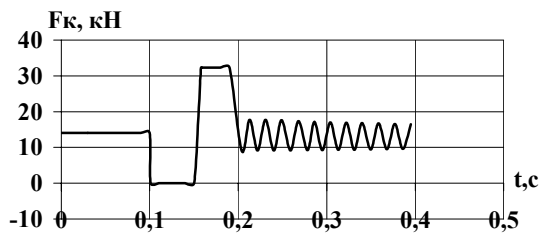


Рис. 20. Процес змінювання поздовжніх зусиль на контакті колесо-рейка F_k при зриві на буксування та повернення у режим тяги

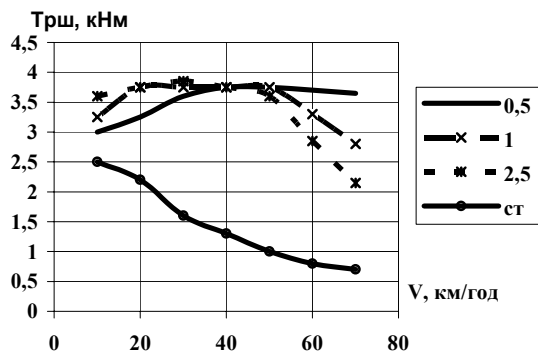


Рис. 21. Найбільші значення моменту у еквівалентному з'єднанні ротор-шестерня $T_{рш}$ від швидкості руху та довжини дільниці із замашеною поверхнею кочення колеса по рейці, $\omega_r > \omega_{кр}$

З цього рисунку маємо, що при швидкостях руху в діапазоні 30...50 км/год довжина дільниці, яка замашена мастилом, не має впливу на створення найбільших значень моменту в з'єднанні ротор-шестерня $T_{рш}$.

На підставі результатів рис. 21 були отримані значення коефіцієнтів динамічної навантаженості $K_d = \frac{T_{\max}}{T_{ст}}$, тобто як результати відношень найбільших значень динамічних величин моментів $T_{рш}$ до відповідних статичних значень. Результати цих розрахунків наведено

на рис. 22. Найбільше значення коефіцієнту динамічності при зриві на буксування та швидкості руху 70 км/год дорівнює $K_d = 6,3$. Як показали розрахунки, електромагнітний момент $T_{ем}$ при цьому змінюється несуттєво. Це означає, що при буксуванні динамічна навантаженість приймається механічною частиною тягового привода.

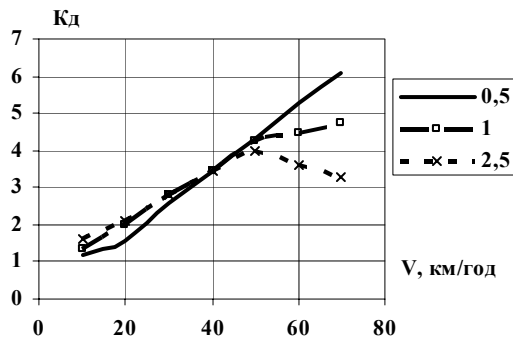


Рис. 22. Чисельні значення коефіцієнтів динамічності K_d в еквівалентному з'єднанні ротор-шестерня,

$$\omega_r > \omega_{кр}$$

У відповідності до розрахункової схеми (рис. 3) та розроблених математичних моделей [3, 5] було отримано результати чисельних розрахунків моделювання процесів, які можуть створюватися в умовах експлуатації локомотивів з використанням групового тягового привода. Розглянуто груповий тяговий привод електровоза (рис. 3), який складається з: тягового двигуна 1; карданного валу, що з'єднує тяговий двигун з тяговим редуктором першої колісної пари візка 2; карданного валу 6, що з'єднує тягові редуктори першої та другої колісної пари; двох валів з конічними та циліндричними шестернями 3, 4 та 7, 8 тягових редукторів першої та другої колісних пар та двох колісних пар 5, 9. Результати цих розрахунків для групового тягового привода наведено на рис. 23 – 52.

Нижче у табл. 1 та на рис. 23 – 25 наведено результати моделювання трифазних та (при різних початкових значеннях фаз) двофазних замикань. У другому рядку табл. 1 наведено стаціонарні значення моментів та зусиль, якими навантажуються елементи групового тягового привода, а також струмів статорних обмоток, що мали місце перед коротким замиканням під час руху локомотива в режимі тяги. У третьому рядку цієї таблиці наведено ті ж саме значення, що і у другому рядку, тільки при трифазному короткому замиканні. Ці результати відповідають швидкості руху 30 км/год, а частоти дорівнюють $\omega_r = 1,3$ 1/с, $\omega_{кр} = 1,5$ 1/с.

Стаціонарні значення моментів, зусиль та струмів у груповому тяговому приводі локомотива та їх найбільші значення при трифазному замиканні й умові, що $\omega_r < \omega_{кр}$

Величина	$T_{ем}$, кНм	$T_{1,2}$, кНм	$F_{3,4}$, кН	$F_{4,5}$, кН	$T_{3,6}$, кНм	S_T , кН	I_s^{max} , А
Режим							
Стаціонарний	5,34	5,34	17,0	35,4	2,67	18,7	350
3-х фазн. КЗ	94,5	90,3	341,7	729,2	46,2	347,6	5925

На рис. 23 – 25 наведено: найбільші значення електромагнітного моменту тягового двигуна 1 $T_{ем}$; моментів зусиль $T_{1,2}$ – з'єднання тягового двигуна 1 з карданним валом 2, $T_{3,6}$ – з'єднання вала 3 першого тягового редуктора з карданним валом 6, що з'єднує тягові редуктори двох колісних пар одного візка; зусиль взаємодії валів 3, 4 $F_{3,4}$ та циліндричної зубчастої передачі $F_{4,5}$ вала 4 та колісної пари 5 першого тягового редуктора; зусиль у вузлі закріплення корпусу тягового редуктора до рами візка S_{T1} ; фазних струмів I_s^{max} при двофазних коротких замиканнях і різних початкових значеннях фаз та умові, що $\omega_r < \omega_{кр}$, обмотки статора живляться струмом, який змінюється за синусоїдальною формою.

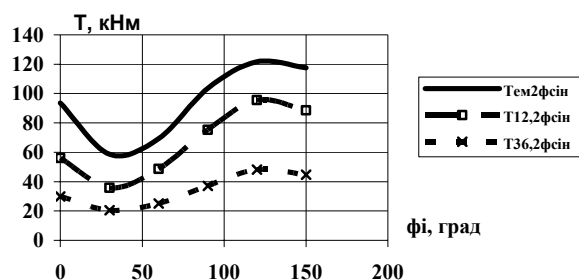


Рис. 23. Найбільші значення моментів $T_{ем}, T_{1,2}, T_{3,6}$ при двофазних коротких замиканнях та умові, що $\omega_r < \omega_{кр}$

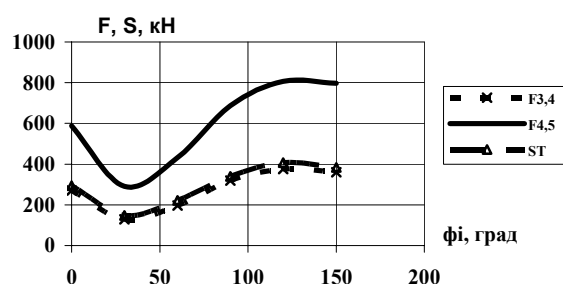


Рис. 24. Найбільші значення зусиль $F_{3,4}, F_{4,5}, S_T$ при двофазних коротких замиканнях та умові, що $\omega_r < \omega_{кр}$

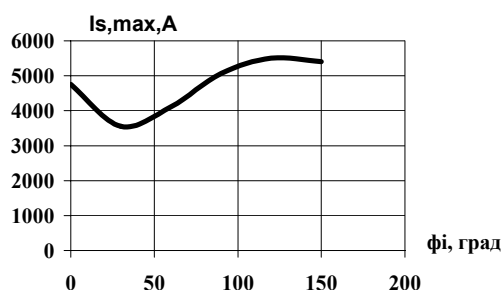


Рис. 25. Найбільші значення струмів фазних обмоток статора I_s^{max} при двофазних коротких замиканнях та умові, що $\omega_r < \omega_{кр}$

На рис. 26 – 41 наведено результати розрахунків моделювання процесів буксування. При цьому результати рис. 26 – 31 відповідають умові, коли $\omega_r < \omega_{кр}$, а результати рис. 32 – 41 – умові, коли $\omega_r > \omega_{кр}$.

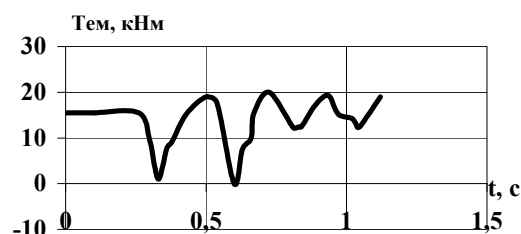


Рис. 26. Залежність електромагнітного моменту $T_{ем}$ при буксуванні, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r < \omega_{кр}$

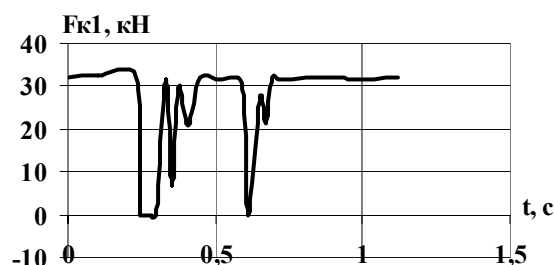


Рис. 27. Залежність поздовжньої складової зусилля на контакті колесо-рейка F_{k1} при буксуванні, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r < \omega_{кр}$

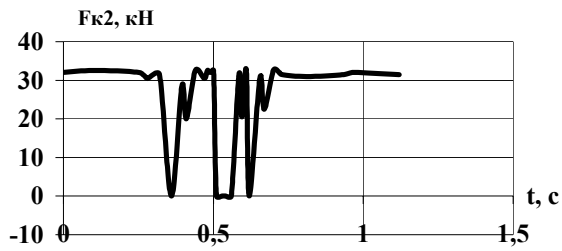


Рис. 28. Залежність поздовжньої складової зусилля на контакті колесо–рейка F_{k2} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r < \omega_{кр}$

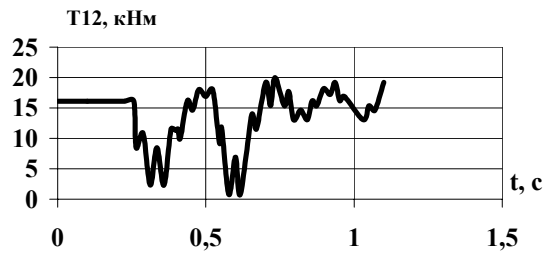


Рис. 29. Залежність моменту T_{12} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r < \omega_{кр}$

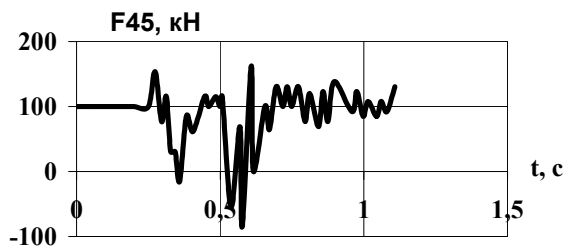


Рис. 30. Залежність зусилля F_{45} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r < \omega_{кр}$

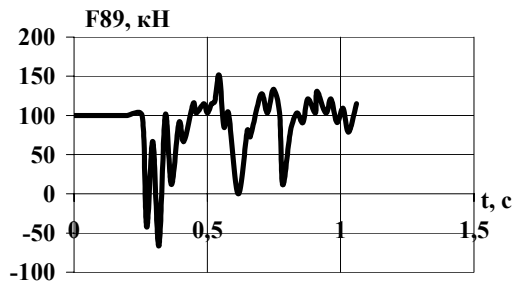


Рис. 31. Залежність зусилля F_{89} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r < \omega_{кр}$

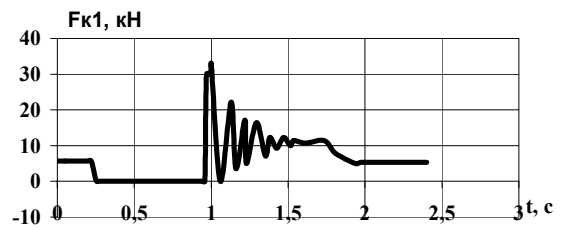


Рис. 32. Залежність поздовжньої складової зусилля на контакті колесо–рейка F_{k1} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 2,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 10$ км/год, є запас за зчепленням

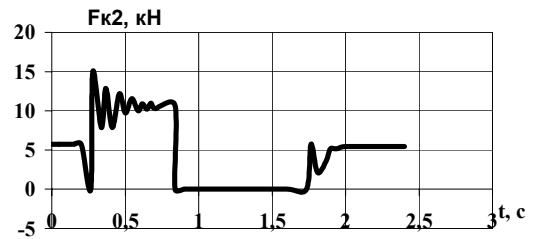


Рис. 33. Залежність поздовжньої складової зусилля на контакті колесо–рейка F_{k2} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 2,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 10$ км/год, є запас за зчепленням

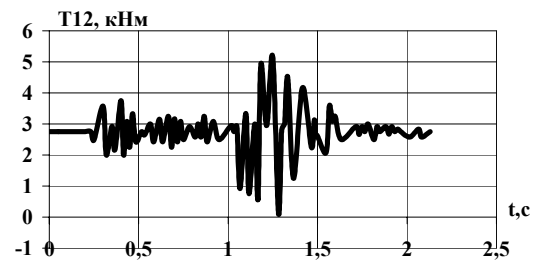


Рис. 34. Залежність моменту T_{12} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 2,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 10$ км/год, є запас за зчепленням

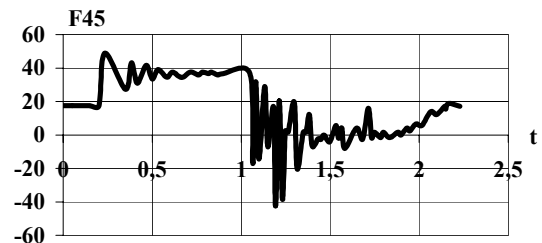


Рис. 35. Залежність зусилля F_{45} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 2,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 10$ км/год, є запас за зчепленням

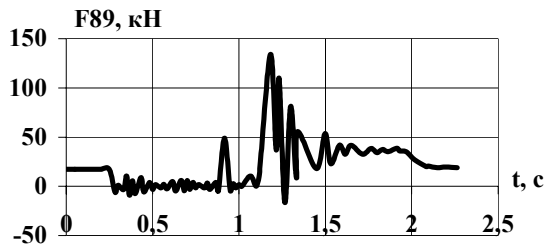


Рис. 36. Залежність зусилля F_{89} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 2,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 10$ км/год, є запас за зчепленням

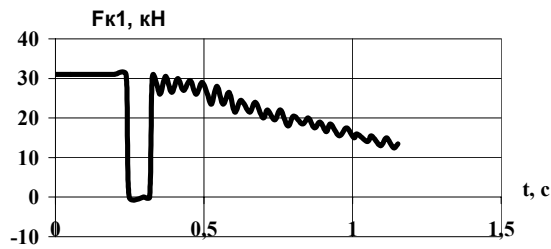


Рис. 37. Залежність поздовжньої складової зусилля на контакт колесо–рейка F_{k1} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 30$ км/год, нема запасу за зчепленням

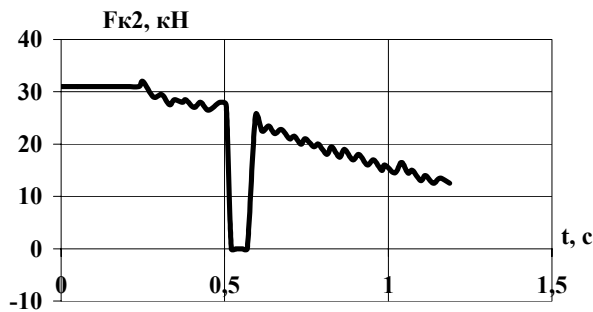


Рис. 38. Залежність поздовжньої складової зусилля на контакт колесо–рейка F_{k2} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 30$ км/год, нема запасу за зчепленням

В табл. 2 наведено дані для розрахунку динамічної навантаженості групового тягового привода при $\omega_r > \omega_{кр}$, обмотки статора живляться струмом, який змінюється з використанням імпульсної та широтно-імпульсної модуляції.

Кількість переключень тиристорів при моделюванні широтно-імпульсної модуляції складало 16 на півперіоду змінювання струмів обмоток статора.

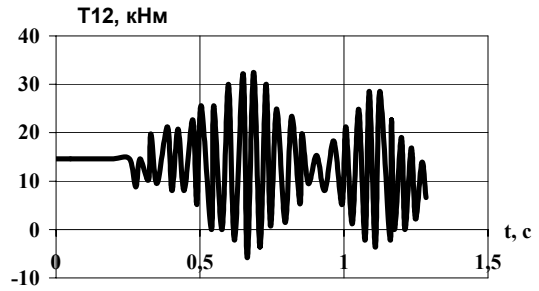


Рис. 39. Залежність моменту T_{12} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 30$ км/год, нема запасу за зчепленням

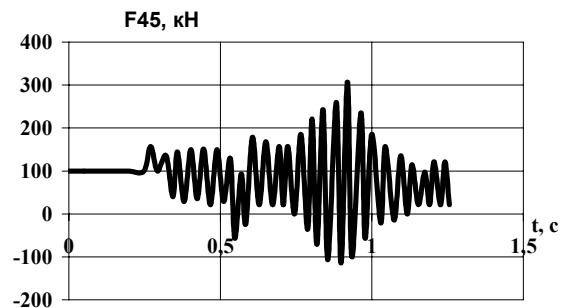


Рис. 40. Залежність зусилля F_{45} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 30$ км/год, нема запасу за зчепленням

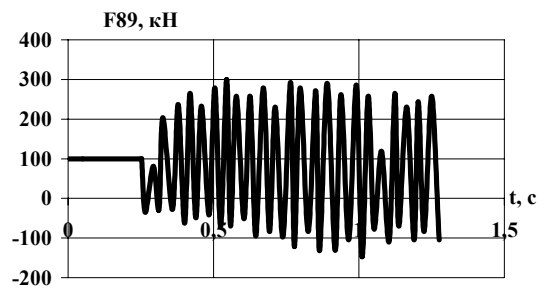


Рис. 41. Залежність зусилля F_{89} при буксуваннях, довжина замашеної ділянки 0,5 м, $\omega_r > \omega_{кр}$, $v = 30$ км/год, нема запасу за зчепленням

В табл. 3 наведено результати розрахунків з моделювання стаціонарного режиму руху в тязі зі швидкістю 20 км/год при живленні статорних обмоток струмом із використанням імпульсної та широтно-імпульсної модуляції.

Таблиця 2

Дані для розрахунку динамічної навантаженості групового тягового привода при $\omega_r > \omega_{кр}$

v , км/год	10	20	20	30	50	70
Режим роботи АІН	ШІМ	ШІМ	ІМ	ІМ	ІМ	ІМ
ω_r , рад/с	3,61	3,11	3,11	3,6	3,76	6,75
I_s , А	300	370	370	285	250	256

Таблиця 3

Значення моментів та зусиль при стаціонарному режимі руху в тязі при швидкості 20 км/год та $\omega_r = 3,11$ 1/с $>$ $\omega_{кр} = 1,5$ 1/с

Режим	Величина	$T_{ем}$, кНм	$T_{1,2}$, кНм	$T_{2,3}$, кНм	$F_{3,4}$, кН	$F_{4,5}$, кН	$T_{3,6}$, кНм	S_T , кН	F_k , кН
ШІМ	MAX	6,7	5,9	5,9	18,8	39,3	3,0	20,3	12,2
	MIN	1,3	5,4	5,4	17,5	36,6	2,7	18,7	11,6
ІМ	MAX	6,8	5,7	5,7	18,2	38,1	2,9	19,7	11,8
	MIN	1,2	5,2	5,2	16,8	35,2	2,6	17,9	11,1

На рис. 42, 43 показано залежності найбільших значень електромагнітного моменту $T_{ем}$, моментів $T_{1,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,6}$ та зусиль $F_{3,4}$, $F_{4,5}$, S_T у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода під час двохфазних коротких замикань при різних початкових значеннях фаз ϕ та умові, що $\omega_r > \omega_{кр}$, обмотки статора живляться струмом, який змінюється за синусоїдальною формою.

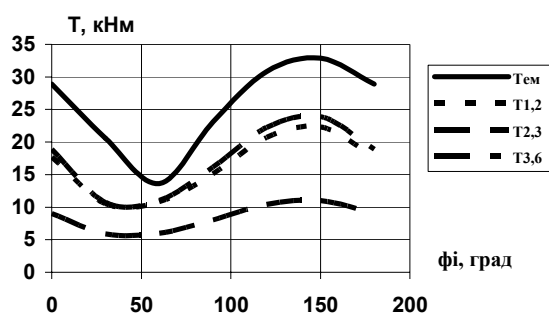


Рис. 42. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{ем}$ та моментів $T_{1,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,6}$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода при двохфазних коротких замиканнях як функції часу при різних початкових значеннях фаз та умові, що $\omega_r > \omega_{кр}$

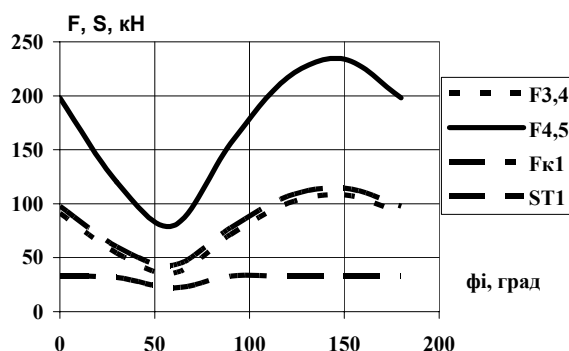


Рис. 43. Найбільші значення зусиль $F_{3,4}$, $F_{4,5}$, S_T у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода та поздовжньої складової зусилля на контакті колесо-рейка $F_{к1}$ при двофазних коротких замиканнях і різних початкових значеннях фаз та умові, що $\omega_r > \omega_{кр}$

На рис. 44 – 47 показано залежності найбільших значень електромагнітного моменту $T_{ем}$, моментів $T_{1,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,6}$ та зусиль $F_{3,4}$, $F_{4,5}$, S_T у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода під час двохфазних коротких замикань як функції часу та умові, що $\omega_r > \omega_{кр}$, обмотки статора живляться струмом з використанням імпульсної (рис. 44 – 45) та широтно-імпульсної (рис. 46 – 47) модуляції. Тут обрано моменти часу, за яких досліджувалися найбільші значення відповідних величин.

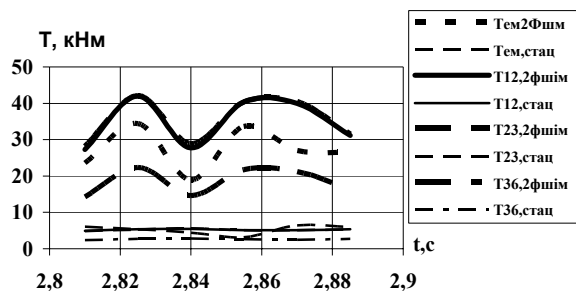


Рис. 44. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моментів $T_{1,2}, T_{2,3}, T_{3,6}$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода при двофазних коротких замиканнях як функції часу та умові, що $\omega_r > \omega_{\text{кр}}$

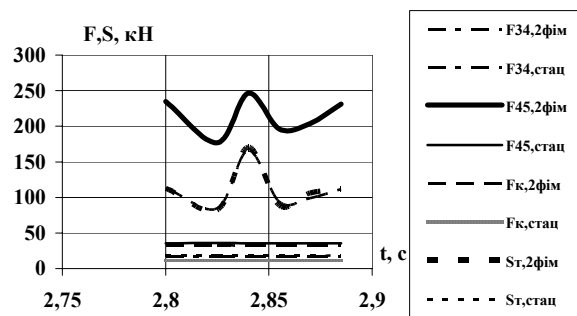


Рис. 47. Найбільші значення зусиль $F_{3,4}, F_{4,5}, S_T$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода та поздовжньої складової зусилля на контакті колесо-рейка $F_{\text{к1}}$ при двофазних коротких замиканнях як функції часу та умові, що $\omega_r > \omega_{\text{кр}}$

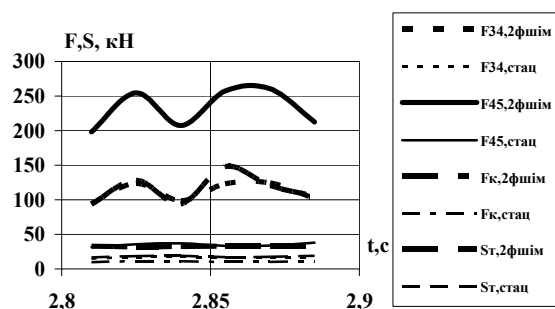


Рис. 45. Найбільші значення зусиль $F_{3,4}, F_{4,5}, S_T$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода та поздовжньої складової зусилля на контакті колесо-рейка $F_{\text{к1}}$ при двофазних коротких замиканнях як функції часу та умові, що $\omega_r > \omega_{\text{кр}}$

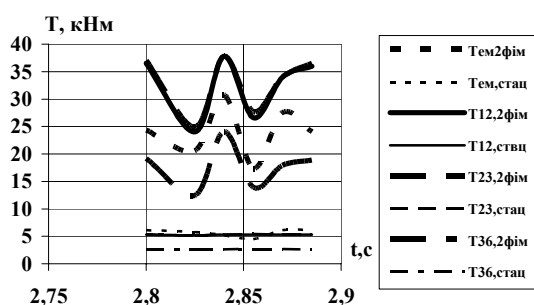


Рис. 46. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моментів $T_{1,2}, T_{2,3}, T_{3,6}$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода при двофазних коротких замиканнях при різних початкових значеннях фаз та умові, що $\omega_r > \omega_{\text{кр}}$

На рис. 48 – 50 наведено найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$, моментів $T_{1,2}, T_{2,3}, T_{3,6}$, зусиль $F_{3,4}, F_{4,5}, F_{7,8}, F_{8,9}$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода, поздовжніх складових зусиль на контакті колесо-рейка $F_{\text{к1}}, F_{\text{к2}}$ та зусилля S_{T1} у вузлі приєднання корпуса тягового редуктора до рами візка при буксуваннях в залежності від довжини дільниці із замашеною поверхнею головок рейок та при різних швидкостях руху.

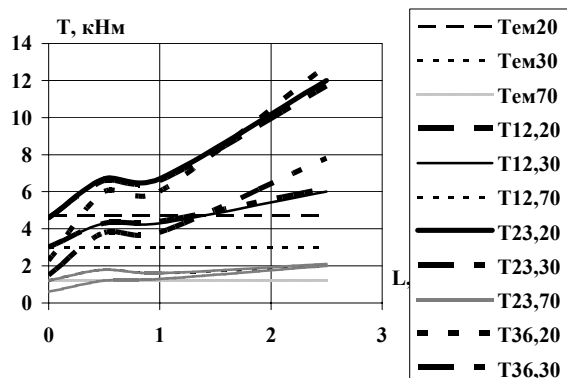


Рис. 48. Найбільші значення електромагнітного моменту $T_{\text{ем}}$ та моментів $T_{1,2}, T_{2,3}, T_{3,6}$ у вузлах з'єднань елементів механічної частини групового тягового привода при буксуваннях в залежності від довжини дільниці із замашеною поверхнею головок рейок та при різних швидкостях руху

Аналіз осцилограм, які ілюструють змінювання зусиль на контакті колесо-рейка $F_{\text{кi}}$ при зривах на буксування, показує, що у випадку відсутності необхідного запасу за зчепленням при положенні колісних пар поза межами дільниці із замашеними поверхнями рейок, а режим

роботи АТД відповідає випадку $\omega_r > \omega_{кр}$, після буксування на замашеній дільниці спостерігається самовільне зменшення зусиль на контакті колесо–рейка F_{ki} .

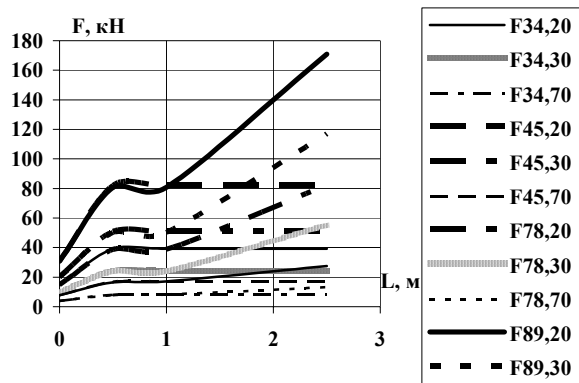


Рис. 49. Найбільші значення зусиль $F_{3,4}, F_{4,5}, F_{7,8}, F_{8,9}$ у вузлах з'єднання елементів групового тягового привода при буксуванні в залежності від довжини дільниці із замашеною поверхнею головок рейок та при різних швидкостях руху

Це пояснюється тим, що, не звертаючи уваги на зрив за зчепленням, електромагнітний момент протягом невеликої тривалості часу залишається практично постійним, але ж при цьому коефіцієнт відносного ковзання колеса по рейці ε_{ki} зростає, що і приводить до зменшення сил F_{ki} і, таким чином, до зростання швидкості обертання колісної пари та до зменшення сили тяги. Отримані результати дозволили зробити висновок про те, що в такому

варіанті живлення тягового двигуна тяговий привод з АТД поводить себе таким саме чином, як і привод з тяговим двигуном постійного струму. В цьому випадку наслідки буксування повинні бути усунені за допомогою спеціального протибуксувального пристрою.

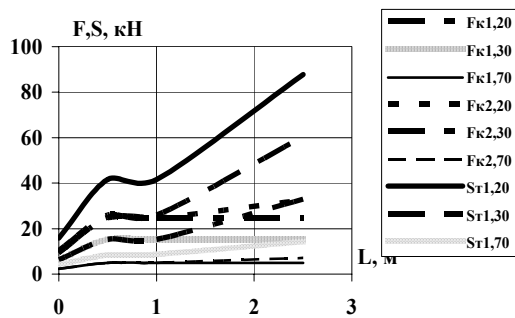


Рис. 50. Найбільші значення поздовжніх складових зусиль на контакті колесо–рейка F_{k1}, F_{k2} та зусилля S_{T1} у вузлі приєднання корпуса тягового редуктора до рами візка групового тягового привода при буксуванні в залежності від довжини дільниці із замашеною поверхнею головок рейок та при різних швидкостях руху

В табл. 4 наведено стаціонарні і найбільші при буксуванні значення моментів та зусиль локомотива з груповим тяговим приводом при умові, що частота обертання електромагнітного поля статора $\omega_r < \omega_{кр}$ та $\omega_r > \omega_{кр}$.

Таблиця 4

Найбільші значення моментів та зусиль при буксуванні та відповідні стаціонарні значення

Режим, величини		$T_{ем}$, кНм	$T_{1,2}$, кНм	T_{23} , кНм	F_{34} , кН	F_{45} , кН	T_{36} , кНм	F_{78} , кН	F_{89} , кН	S_{T1} , кН	F_{k1} , кН	F_{k2} , кН
$\omega_r < \omega_{кр}$	стац.	15,6	15,6	15,6	49,5	103,5	7,8	49,5	103,4	53,2	31,5	31,5
	букс.	20,2	20,2	21,0	78,4	165,4	12,4	74,1	153,7	78,8	33,0	33,0
$\omega_r > \omega_{кр}$	стац.	15,4	15,4	15,4	48,8	102	7,7	48,8	102	52,5	31,1	31,1
	букс.	15,4	33	34,2	132,6	274,1	25,5	149,5	309,2	158,4	33	31,1

Для порівнювання варіантів привода визначався імпульс сили тяги протягом однієї секунди з моменту початку буксування першої за напрямком руху колісної пари. У випадку буксування на замашеній мастилом дільниці довжиною 0,5 м імпульс сили тяги візка у груповому тяговому приводі на швидкості руху $v = 30$ км/год при $\omega_r = 2,6$ 1/с $> \omega_{кр} = 1,5$ 1/с складає 41,1 кН·с. Протягом того самого часу в подібних умовах в індивідуальному тяговому

приводі імпульс сили тяги одного візка складає 57 кН·с, що надає можливість зробити висновок про те, що ефективність групового тягового привода виявилася на 28 % нижче ефективності індивідуального привода.

У випадках, коли буксування відбувається при відсутності необхідного запасу за зчепленням, АТД створює електромагнітний тяговий момент при частоті обертання поля ротора в докритичній області $\omega_r < \omega_{кр}$, при цьому від-

бувається короткочасне зменшення результуючої сили тяги. У випадку, коли відбувається повторний короткочасний зрив на буксування, результуюча сила тяги відновлюється до рівня, який був напередодні виникнення процесу буксування.

З порівнювання результатів розрахунку режимів буксування при реалізації тяги у випадках, коли відсутній запас за зчепленням коліс з рейками переважнішою виявляється докритична область роботи АТД, тому що імпульс результуючої сили тяги візка протягом однієї секунди складає 55,6 кН·с та буде на 24 % більше у порівнянні з випадком, коли за інших рівних умов АТД працював у закритичній області. В такий ситуації вихід привода з режиму буксування вимагався б із застосуванням спеціальних протибуксувальних пристроїв та створився б завдяки особливостям роботи асинхронних тягових двигунів. Але ж і за цих умов (двигун працює в докритичній області) імпульс сили тяги візка на інтервалі часу в одну секунду виявився на 2,5 % нижче, ніж при використанні індивідуального привода.

Таким чином, виконане дослідження поведінки тягових приводів на межі зчеплення та при зривах зчеплення, що пов'язано з наїздами локомотива на замащену мастилом дільницю, виявило, що індивідуальний тяговий привод є більш ефективним у порівнянні з груповим тяговим приводом.

Звернемо також увагу на те, що розкид кругів катання колісних пар у груповому тяговому приводі обмежує можливості його використання на межі зчеплення. Використання в індивідуальних тягових приводах АТД дозволяє забезпечувати їх керуванням таким чином, щоб

кожною колісною парою реалізувалася сила тяги на межі зчеплення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Копылов, И. П. Математическое моделирование асинхронных машин [Текст] / И. П. Копылов, Ф. А. Мамедов, В. Я. Беспалов. – М.: Энергия, 1969. – 96 с.
2. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин [Текст] / И. П. Копылов. – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.
3. Математическое моделирование электромеханических процессов в асинхронных групповых и индивидуальных (с опорно-осевым подвешиванием) приводах локомотивов [Текст] / Л. А. Манашкин и др. – Д., 1990. – 52 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ 30.05.91 № 5124.
4. Исследование нагруженности асинхронного тягового привода при коротком замыкании статорных обмоток тягового двигателя [Текст] / Л. А. Манашкин и др. // Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. науч. тр. / Брянский ин-т транспортного машиностроения. – Брянск, 1986. – С. 146-152.
5. Моделирование динамической нагруженности группового и индивидуального асинхронных тяговых приводов локомотивов в режимах буксований [Текст] / Л. А. Манашкин и др. // Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. науч. тр. / Брянский ин-т транспортного машиностроения. – Брянск, 1990. – С. 43-47.
6. Хлебников, В. Н. Исследование фрикционного взаимодействия колес с рельсами [Текст] / В. Н. Хлебников // Железнодорожный транспорт за рубежом. – 1976. – № 3.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 19.01.2010.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЇХ ЗАЛІЗНИЧНО-ПОРОМНИМ СУДНОМ В УМОВАХ МОРСЬКОЇ КАЧКИ

У статті наведено результати дослідження динаміки вагона-цистерни при перевезенні його залізнично-поромним судном в умовах морської качки з урахуванням недоливу котла наливним вантажем та різних курсових кутів хвилі по відношенню до корпусу судна. Визначено величини прискорень, які виникають за даних умов експлуатації та спричиняють вплив на міцність та стійкість вагонів відносно палуби судна.

В статье представлены результаты исследований динамики вагона-цистерны при перевозке его железнодорожно-паромным судном в условиях морской качки с учетом недолива котла наливным грузом и различных курсовых углов волны по отношению к корпусу судна. Определены величины ускорений, которые возникают при данных условиях эксплуатации и оказывают воздействие на прочность и устойчивость вагонов относительно палубы судна.

The article is dealt with the results of dynamics research of cistern car while transporting it by the railway-ferry ship in conditions of sea rolling and pitching taking into account the incomplete filling of boiler by the bulk cargo and different wave route movement in relation to the ferry ship body. The acceleration values, which appear in the given conditions of its operation and make impact on the car strength and stability relative to the ship deck, have been determined.

Постановка проблеми

У теперішній час, коли підвищення інтенсифікації взаємодії окремих галузей транспортного процесу України забезпечує прискорення інтегрування її складових у систему міжнародних транспортних коридорів, однією з важливих комбінацій у цьому напрямку є залізнично-поромні перевезення, тому покращенню ефективності їх експлуатації необхідно приділити особливу увагу з метою відпрацювання принципово нових технічних рішень.

Зараз в Україні експлуатуються чотири поромні маршрути: Тамань – Керч (Росія – Україна), Іллічівськ – Варна (Україна – Болгарія), Іллічівськ – Поті – Батумі (Україна – Грузія), Іллічівськ – Дериндже (Україна – Туреччина) і, враховуючи подальші темпи розвитку нових транспортних шляхів, це далеко не остання цифра.

Питанню розміщення та надійності закріплення вагонів відносно палуб залізнично-поромних суден необхідно приділяти особливу увагу, оскільки від цих факторів, головним чином, залежить остійність поромних суден, а також збереження залізничного рухомого складу і вантажів.

Аналіз статистичних даних аварійних ситуацій поромних суден з вагонами на борту дозволяє у першому наближенні зробити висновок, що головною причиною зниження остійності судна є зміщення вагонів зі своїх штатних

місць щодо заданого каргоплану в умовах морської качки судна.

Аналіз останніх досліджень

Відомо, що залізнично-поромні переправи здійснюють перевезення широкої номенклатури вантажів, серед яких одним із найпоширеніших є наливні у вагонах-цистернах (наприклад, в 2007 р. обсяг перевезень наливних вантажів через Іллічівський поромний комплекс склав 79 тис. т, а через комплекс морської залізничної поромної переправи в порту «Крим» – 920 тис. т)¹.

Вперше перевезення вагонів-цистерн через водну перешкоду відбулося під час Великої Вітчизняної війни, саме тоді у стратегічних цілях необхідно було здійснити переправу наливного вантажу через р. Волга, а за відсутності перехідного моста зчепи з котлів вагонів-цистерн спускали на воду і переправляли їх таким чином за допомогою буксира.

Пізніше почали перевозити вагони-цистерни за допомогою спеціально переобладнаних для цього суден, наприклад, в 1962 р. був переобладнаний однопалубний ліхтер «Ішимбай», який використовувався для перевезення залізничного рухомого складу із Баку в порти північного та східного прибережжя Каспію.

¹ частка наливного вантажу у загальному обсягу імпортованих перевезень через поромну переправу «Крим – Кавказ» у 2007 р. склала практично 100 %.

У зв'язку з розширенням географії поромного сполучення, підвищенням швидкостей руху, і таким чином, мінімізацією часу перевезень особливу увагу необхідно приділити дослі-

дженню динаміки вагонів-цистерн за умови знаходження на поромних судах при слідкуванні акваторією моря (рис. 1).

а)



б)



Рис. 1. Розміщення вагонів-цистерн на палубах залізнично-поромних суден під час руху морем: а) «Герои Одессы»; б) «Петровск»

Викладення основного матеріалу

Суттєвий вплив на безпеку руху вагонів-цистерн і стійкість проти перекидання у складі поїзда має недолив котла наливним вантажем. Згідно досліджень проф. Г. І. Богомаза (ДІПТ), величина недоливу в експлуатації складає приблизно $0,1 \dots 0,5$ радіусу котла [1].

Тому вважаємо, що актуальним є дослідження динаміки вагонів-цистерн при перевезенні їх поромними суднами в умовах морського хвилювання з урахуванням недоливу котла наливним вантажем та різних курсових кутів хвилі по відношенню до корпусу поромного судна, що може суттєво вплинути на надійність перевізного процесу і експлуатації комбінованого транспорту.

При побудові наближеної до реальних умов фізичного процесу коливань математичної моделі було враховано технологію перевезення вагонів вітчизняними поромними суднами, прийнята на Іллічівському поромному комплексі, де для обмеження переміщень вагонів під надресорні балки встановлюються механічні упор-домкрати з метою обезвантаження елементів ресорного підвішування, згідно [2], а також технологія, що застосовується на ДП «ТИС-Крим», де для скорочення часу простою поромних суден закріплюють тільки крайні від ахтерштевня вагони, згідно [3].

При традиційному підході до розрахунку котла вагона-цистерни приймаються наступні припущення: основна маса наливного вантажу закріплюється ковзаючою по стінках котла кришкою, внаслідок чого стає можливим моделювати його як маятника на біфілярному¹ підвісі, що значно спрощує розрахунок [4].

З метою визначення величини прискорення вагонів-цистерн в умовах хвилювання моря були складені диференційні рівняння їх руху для основних видів морської качки (вертикальної (1), кільової (2) та бортової (3)) з урахуванням гідрометеорологічних умов акваторії плавання суден з використанням принципу Лагранжа II роду та їх розв'язання.

В якості узагальненої координати кожного члену диференційного рівняння враховувалися переміщення: 1) залізнично-поромного судна відносно поверхні моря; 2) переміщення, яке зумовлено наявністю вільної поверхні наливного вантажу; 3) котла вагона-цистерни посередництвом роботи ресорного підвішування, наливного вантажу та поромного судна.

Для визначення приєднаного моменту інерції наливного вантажу в умовах кільової та бортової видів качки використовувалася методика члена УАН, проф. С. Ф. Феценко [5].

Розв'язання рівнянь здійснювалося за допомогою програмного комплексу MathCad.

Результати проведеного дослідження наведено у вигляді графіків на рис. 2 – 6.

$$\begin{cases} a_{11}^z \ddot{q}_1 - b_{11}^z \dot{q}_1 + c_{11}^z q_1 = F_{nc}^z(t); \\ a_{22}^z (\ddot{q}_2 + \ddot{q}_1) + b_{22}^z (q_2 + q_1) + c_{22}^z (\dot{q}_2 + \dot{q}_1) = \\ = F_{nb}^z(t); \\ a_{33}^z (\ddot{q}_3 + \ddot{q}_2 + \ddot{q}_1) + b_{33}^z (q_3 + q_2 + q_1) + \\ + c_{33}^z (\dot{q}_3 + \dot{q}_2 + \dot{q}_1) = F_{vc}^z(t). \end{cases} \quad (1)$$

¹ біфілярний (від біфіляр (бі- + лат. «filum» – нитка)) – той, що складається із двох ниток (підвісів).

$$\begin{cases} a_{11}^x \times \ddot{\phi}_1 - b_{11}^x \times \phi_1 + c_{11}^x \times \dot{\phi}_1 = F_{\text{пс}}^x(t); \\ a_{22}^x (\ddot{\phi}_2 + \ddot{\phi}_1) + b_{22}^x (\phi_2 + \phi_1) + c_{22}^x (\dot{\phi}_2 + \\ + \dot{\phi}_1) = F_{\text{нв}}^x(t); \\ a_{33}^x (\ddot{\phi}_3 + \ddot{\phi}_2 + \ddot{\phi}_1) + b_{33}^x (\phi_3 + \phi_2 + \phi_1) + \\ + c_{33}^x (\dot{\phi}_3 + \dot{\phi}_2 + \dot{\phi}_1) = F_{\text{вц}}^x(t). \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_{11}^y \times \ddot{\theta}_1 - b_{11}^y \times \theta_1 + c_{11}^y \times \dot{\theta}_1 = F_{\text{пс}}^y(t); \\ a_{22}^y (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_1) + b_{22}^y (\theta_2 + \theta_1) + c_{22}^y (\dot{\theta}_2 + \\ + \dot{\theta}_1) = F_{\text{нв}}^y(t); \\ a_{33}^y (\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_1) + b_{33}^y (\theta_3 + \theta_2 + \theta_1) + \\ + c_{33}^y (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_1) = F_{\text{вц}}^y(t), \end{cases} \quad (3)$$

де $a_{11}^i, a_{22}^i, a_{33}^i$ – маса та моменти інерції (відносно поздовжньої та поперечної осей) поромного судна, наливного вантажу (бензин¹) та вагона-цистерни;

$b_{11}^i, b_{22}^i, b_{33}^i$ – складові потенційної енергії поромного судна, наливного вантажу та вагона-цистерни при вертикальній, кильовій та бортовій видах качки;

$c_{11}^i, c_{22}^i, c_{33}^i$ – коефіцієнти опору вертикальній, кильовій та бортовій видам качки поромного судна, наливного вантажу та вагона-цистерни;

$q_{1,2,3}, \dot{q}_{1,2,3}, \ddot{q}_{1,2,3}, \phi_{1,2,3}, \dot{\phi}_{1,2,3}, \ddot{\phi}_{1,2,3}, \theta_{1,2,3}, \dot{\theta}_{1,2,3}, \ddot{\theta}_{1,2,3}$ – відповідно, узагальнені координати, швидкості та прискорення при вертикальній, кильовій та бортовій видах качки;

$F_{\text{пс}}^i(t), F_{\text{нв}}^i(t), F_{\text{вц}}^i(t)$ – відповідно, збурюючі зусилля, які діють на поромне судно, наливний вантаж та вагон-цистерну при вертикальній, кильовій та бортовій видах качки.

При дослідженні динаміки вагонів-цистерн з урахуванням обезвантаження їх ресорного підвішування, зазначену вище систему доцільно звести до розв'язання двох диференціальних рівнянь руху, першим з яких описується переміщення поромного судна відносно поверхні моря, а другим – наливного вантажу:

$$\begin{cases} a_{11}^z \times \ddot{q}_1 - b_{11}^z \times q_1 + c_{11}^z \times \dot{q}_1 = F_{\text{пс}}^z(t); \\ a_{22}^z (\ddot{q}_2 + \ddot{q}_1) + b_{22}^z (q_2 + q_1) + \\ + c_{22}^z (\dot{q}_2 + \dot{q}_1) = F_{\text{нв}}^z(t), \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} a_{11}^x \times \ddot{\phi}_1 - b_{11}^x \times \phi_1 + c_{11}^x \times \dot{\phi}_1 = F_{\text{пс}}^x(t); \\ a_{22}^x (\ddot{\phi}_2 + \ddot{\phi}_1) + b_{22}^x (\phi_2 + \phi_1) + \\ + c_{22}^x (\dot{\phi}_2 + \dot{\phi}_1) = F_{\text{нв}}^x(t), \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} a_{11}^y \times \ddot{\theta}_1 - b_{11}^y \times \theta_1 + c_{11}^y \times \dot{\theta}_1 = F_{\text{пс}}^y(t); \\ a_{22}^y (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_1) + b_{22}^y (\theta_2 + \theta_1) + \\ + c_{22}^y (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_1) = F_{\text{нв}}^y(t). \end{cases} \quad (6)$$

На рис. 2 наведено динаміку прискорень вагонів-цистерн при вертикальній качці залізнично-поромних суден «Петровск» (однопалубне судно, що здатне перевозити по 25 залізничних вагонів; на палубі порому даного типу є чотири залізничні колії для завантаження та розміщення вагонів) (рис. 2, а) та «Герои Шипки» (трюхпалубне судно, яке може прийняти на свій борт 108 залізничних вагонів; для подачі вагонів на верхню та трюмну палуби пором обладнаний гідравлічним ліфтом, а для встановлення їх на штатні місця передбачено судові локомотиви – унілоки) (рис. 2, б).

Отримані величини прискорень вагонів-цистерн в умовах кильової качки залізнично-поромного судна «Петровск» з урахуванням гідрометеорологічних факторів акваторії плавання, які враховувалися при побудові математичної моделі, мають невелике значення, тому їх графіки не наводяться.

На рис. 3 наведено прискорення вагонів-цистерн при бортовій качці залізнично-поромного судна «Петровск» для вагонів, розміщених на крайній та на другій від фальшборту коліях. Як видно з графіків, величини прискорень мають приблизно однакову величину.

Найбільша величина прискорень при вертикальній качці залізнично-поромного судна «Герои Шипки» приходить на вагони верхньої палуби судна (рис. 2, б), при кильовій та бортовій – на найбільш віддалені від точки дії збурюючої сили вагони (рис. 4, 5).

Загальна величина прискорення буде складатися з прискорення вагона відносно палуби поромного судна та складової прискорення вільного падіння.

Отримані величини прискорень вагонів-цистерн при перевезенні їх морем перевищують допустимі, які встановлені для експлуатаційних умов на залізничних коліях [6]. Наприклад, з урахуванням допустимої оцінки ходу вагона величина горизонтального прискорення кузова вантажного вагона в навантаженому стані складає 0,45g. В нашому випадку, при бортовій качці залізнично-поромного судна, загальна величина прискорення склала 0,53g, що перевищує допустиме значення на 15 %.

¹ Бензин є одним з найбільш обертових у залізнично-поромному сполученні наливних вантажів.

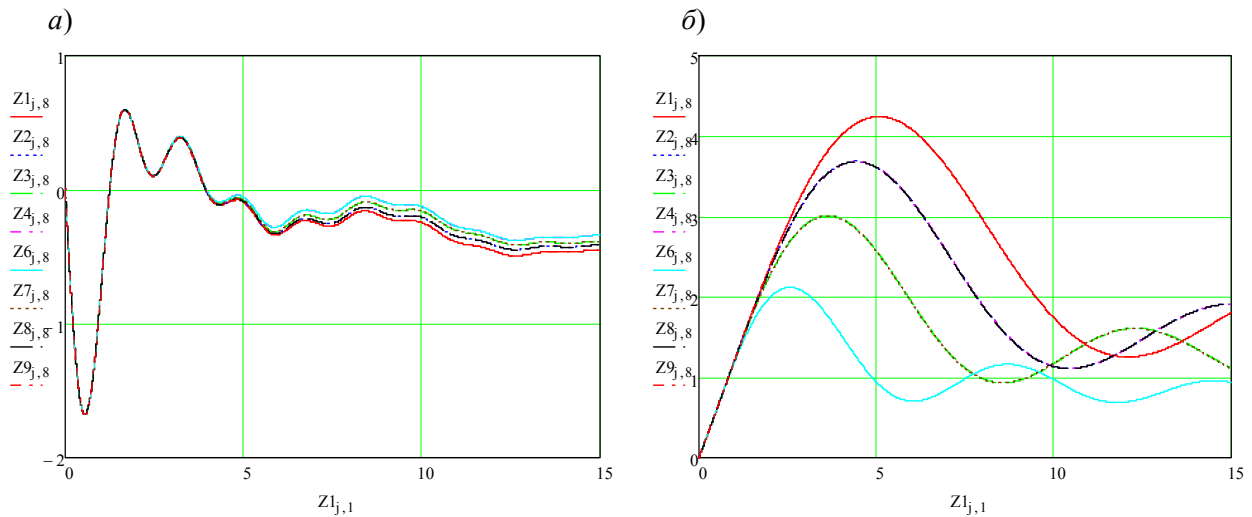


Рис. 2. Прискорення вагона-цистерни при вертикальній качці залізнично-поромного судна.

Курсові кути хвилі по відношенню до корпусу поромного судна:

$$Z1_{\gamma,8} = 0^0; Z2_{\gamma,8} = 30^0; Z3_{\gamma,8} = 45^0; Z4_{\gamma,8} = 60^0; Z5_{\gamma,8} = 90^0; Z6_{\gamma,8} = 120^0; Z7_{\gamma,8} = 135^0; Z8_{\gamma,8} = 150^0;$$

$$Z9_{\gamma,8} = 180^0; Z1_{\gamma,1} - \text{час процесу};$$

а) для вагона-цистерни, розміщеного на палубі поромного судна «Петровск»;

б) для вагона-цистерни, розміщеного на верхній палубі поромного судна «Герои Шипки»

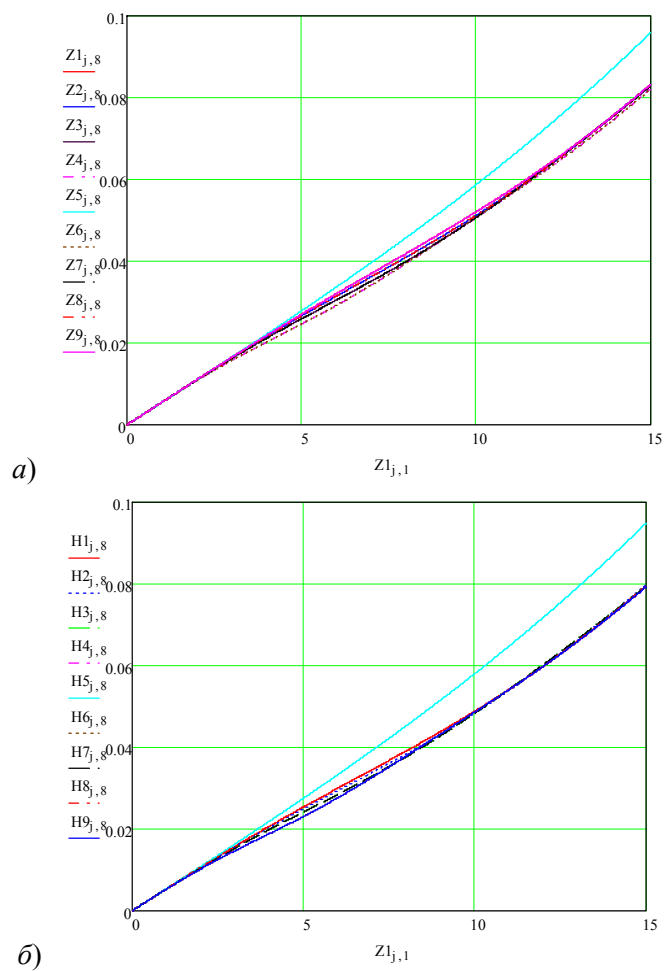


Рис. 3. Прискорення вагонів-цистерн при бортовій качці залізнично-поромного судна «Петровск»:

а) для крайнього від фальшборту вагона-цистерни; б) для другого від фальшборту вагона-цистерни

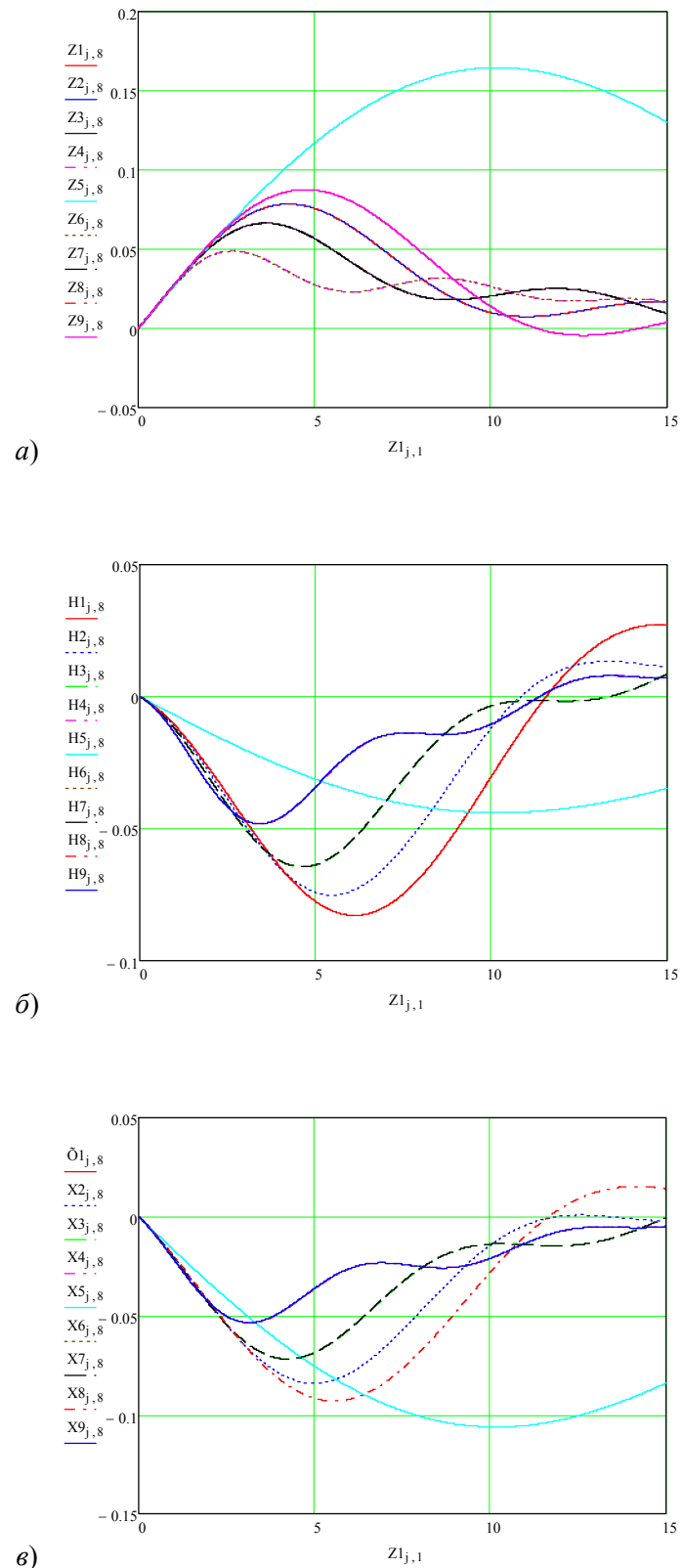


Рис. 4. Прискорення вагонів-цистерн при кільвій качці залізнично-поромного судна «Герои Шипки»:
 а) для вагона-цистерни, який знаходиться в ахтерштевневій частині поромного судна;
 б) для вагона-цистерни, який знаходиться в міделевій частині;
 в) для вагона-цистерни, який знаходиться у форштевневій частині

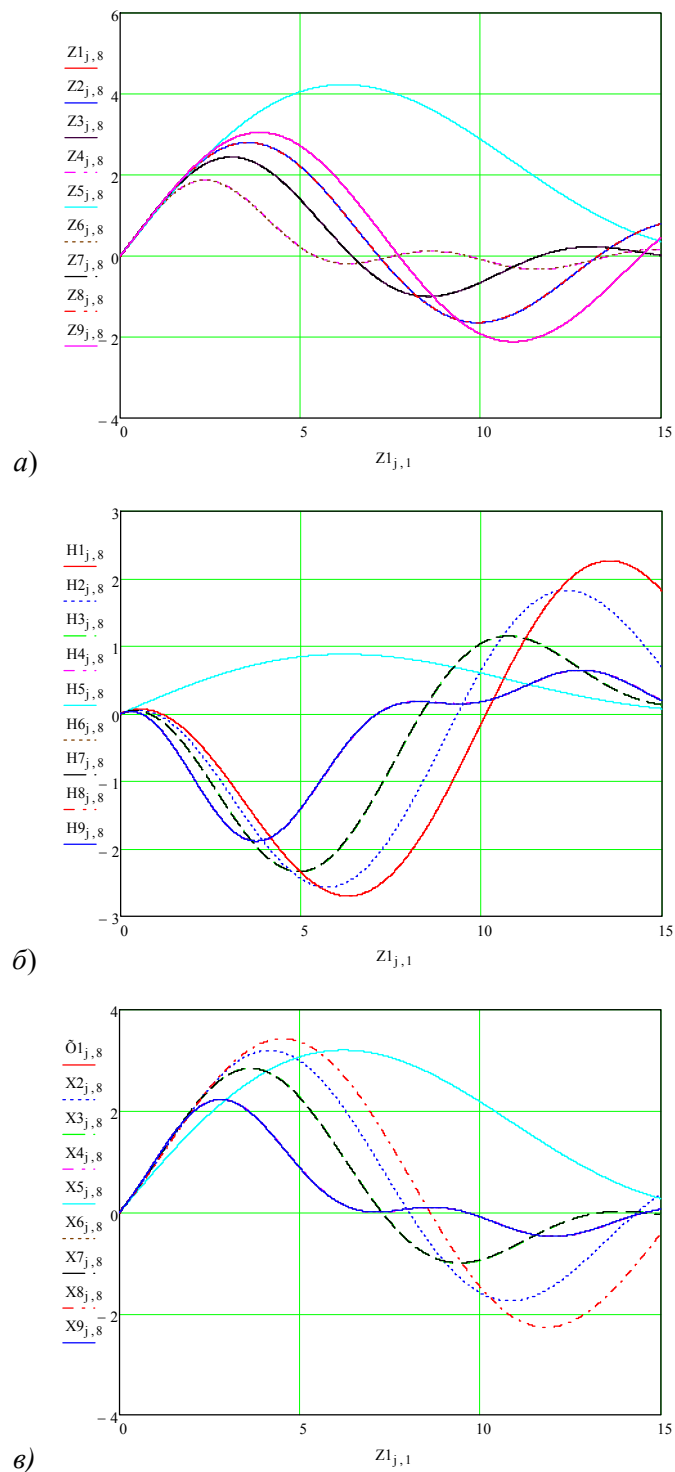


Рис. 5. Прискорення вагонів-цистерн при бортовій качці залізнично-поромного судна «Герои Шипки»:
 а) для крайнього від фальшборта вагона-цистерни;
 б) для другого від фальшборта вагона-цистерни;
 в) для вагона-цистерни, розміщеного на середній колії поромного судна

Висновки

Результати проведеного дослідження дозволяють оцінити загальну величину прискорень вагонів-цистерн при перевезенні їх поромним судном в умовах хвилювання моря та з урахуванням недоливу котлів наливним вантажем.

Завдяки чому стає можливим покращити коефіцієнт стійкості вагонів проти перекидання шляхом обирання найбільш сприятливого місця їх розміщення відносно палуби поромного судна.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Богомаз, Г. И. Динамика железнодорожных вагонов-цистерн [Текст] / Г. И. Богомаз. – К.: Наук. думка, 2004. – 224 с.
2. Единый технологический процесс работы берегового паромного комплекса Ильичевск [Текст]. – Д.: ДИИТ, 1987. – 126 с.
3. Технологический процесс работы станции Крым Приднестровской железной дороги и «Комплекса морской железнодорожной паромной переправы» в порту Крым [Текст]. – Керчь, 2004. – 56 с.
4. Черкашин, Ю. М. Динамика наливного поезда [Текст] / Ю. М. Черкашин // Тр. ЦНИИ МПС. – Вып. 543. – М.: Транспорт, 1975. – 136 с.
5. Методы определения присоединенных масс жидкости в подвижных полостях [Текст] / С. Ф. Фещенко и др. – К.: Наук. думка, 1969. – 250 с.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Надійшла до редколегії 28.12.2009.

Прийнята до друку 14.01.2010.

РОБОТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОНТАКТОРІВ ПРИ МІНІМАЛЬНОМУ ЗНАЧЕННІ НАПРУГИ КІЛ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ ЗАЛІЗНИЦЬ

Розроблено рекомендації із забезпечення нормованих розхилів головних контактів та їх натиснення при мінімальній напрузі кіл керування, яка допускається в експлуатації.

Разработаны рекомендации по обеспечению нормированных растворов главных контактов и их нажатия при минимальном напряжении в цепях управления, которое допускается в эксплуатации.

The recommendations on securing of the main contacts with normalized opening and their pressing under minimal voltage (allowed in operation) in the control circuits have been developed.

Номинальні значення напруг кіл керування електровозами, тепловозами та іншим рухомих складом (РС) залізниць України, як правило, дорівнюють 50 або 110 В. Мінімальні значення цих напруг, які допускаються в експлуатації, є, відповідно, 35 та 77 В [1]. Всі електромагнітні пристрої кіл керування РС повинні бути працездатними при вказаних мінімальних значеннях напруг $U_{\min}$.

Працездатність – це стан виробу, при якому він спроможний виконувати задані функції з параметрами, які встановлені вимогами технічної документації [2]. Автор вважає, що для забезпечення працездатності контактора після ремонту із розбиранням повинні бути узгоджені між собою його тягова та протидіючі характеристики. Доцільність цього узгодження обумовлена наступним: при збиранні контактора після ремонту (поточний ремонт третій, заводські ремонти) сполучення його деталей носить випадковий характер. Активні опори котушок, жорсткість пружин та параметри інших деталей згідно технічної документації мають суттєві відхилення від їх середніх значень. Випадковий збіг, коли, наприклад, опір котушки буде мати максимальне значення при певному положенні протидіючої характеристики може привести до того, що не при всіх значеннях повітряного зазору між осердям котушки та якорем тягова сила буде більшою за силу протидії, що не забезпечить нормальну роботу контактора. Внаслідок цього виникає необхідність корегувати одну або навіть обидві характеристики – узгоджувати їх. Характеристики контакторів РС можна змінювати наступними способами:

- а) збільшувати або зменшувати значення тягової сили;
- б) змінювати початкове стиснення пружин (вимикальної, контактної).

У загальному випадку (для загальнопромислових контакторів) узгодження характеристик електромагнітних контакторів полягає у наступному (рис. 1) [6]:

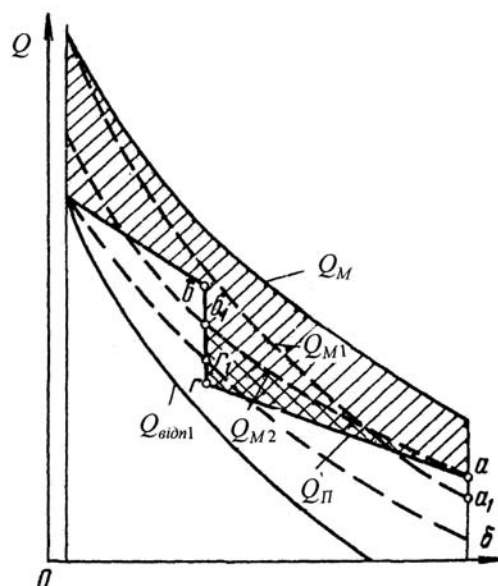


Рис. 1. Узгодження характеристик тягової та протидії електромагнітного контактора в загальному випадку

1. Тягова сила Q повинна бути більшою, ніж протидіюча Q_{π} . При характеристиці Q_{M1} контактор не ввімкнеться внаслідок того, що при відпущеному якорі точка « a_1 » знаходиться нижче точки a ; при характеристиці Q_{M2} у момент дотикання контактів відбудеться затримка руху (точка « b_1 » лежить нижче точки « b ») і контакти можуть зваритися. Якщо рухомі частини контактора будуть мати достатній запас кінетичної енергії, яка показана на рисунку подвійно заштрихованою площиною, розташованою між характеристиками тяговою та проти-

діючою, то після деякої затримки контактор повністю ввімкнеться. При цьому потрібно мати на увазі, що динамічна тягова характеристика лежить нижче статичної, що зменшує вказану площу.

2. Різниця значень сил тягової та протидії у момент дотикання контактів (точка «б») не повинна бути надмірною, а повинна бути тільки достатньою для отримання потрібної швидкості руху якоря (з міркувань дугогасіння, вібрації контактів та ін.). Якщо у точці «б» тягова сила буде мати надмірний запас у відношенні до сили протидії, то у момент замикання якоря буде сильний удар. Наприклад, на рис. 1 заштрихована площа не повинна бути надмірною при максимальній допустимій напрузі кіл керування.

3. При зниженні тягової сили у процесі відключення контактора потрібно, наприклад, щоб характеристика відпадання якоря $Q_{\text{відп1}}$ проходила нижче точки «г» протидіючої характеристики $Q_{\text{П}}$.

Якщо характеристика відпадання буде перетинати протидіючу характеристику у точці «г1», то розмикання контактів не відбудеться, а внаслідок малого значення сили їх натиснення вони можуть приваритися.

Відмітимо, що для тягових електромагнітних контакторів третій пункт не діє, бо командою на їх відключення є повне зняття напруги з котушки, а конструктивно приймаються заходи із зменшення дії залишкового магнітного потоку. Тому у наших дослідженнях робота контактора за третьою умови не досліджується.

Статистика показує, що не всі електромагнітні контактори РС вмикаються при U_{min} . У той самий час у переліку робіт з регулювання контакторів після ремонту відсутня вимога перевіряти основну умову безумовного увімкнення контакторів: тягова характеристика $Q_M = f(\delta)$ повинна лежати вище протидіючої (механічної) характеристики $Q_{\text{П}}' = f(\delta)$ у будь-якій точці інтервалу $\delta_0 < \delta < \delta_{\text{відп}}$, де Q_M – сила притягання електромагніту привода контактора; $Q_{\text{П}}$ – результуюча сила опору (протидіюча сила), яка складається із приведених до плеча сили Q_M відносно осі повороту якоря сукупності сил вимикальної $Q_{\text{В}}$ та контактної (притираючої) $Q_{\text{К}}$ пружин, ваги рухомої системи; силами тертя нехтуємо. $\delta_{\text{відп}}$, δ_0 , δ – відповідно зазор між осердям та якорем електромагніту у відпущеному, притягнутому та проміжному стані якоря.

При Г-подібній формі якоря електромагніту із зовнішнім обертовим якорем, наприклад,

як у контактора типу МК-310Б, що широко застосовується у схемах РС залізниць, обидві полиці якоря мають однакову вагу. Тому відносно вісі повороту ваги кожної полиці створюють приблизно однакові за значенням, але протилежно спрямовані моменти. У цьому випадку при визначенні $Q_{\text{П}}$ можна не враховувати складову сили опору, що створюється вагою якоря (рис. 2). На рис. 3 статична характеристика $Q_M = f(\delta)$ відкладена із зворотним знаком порівняно з її фактичним положенням.

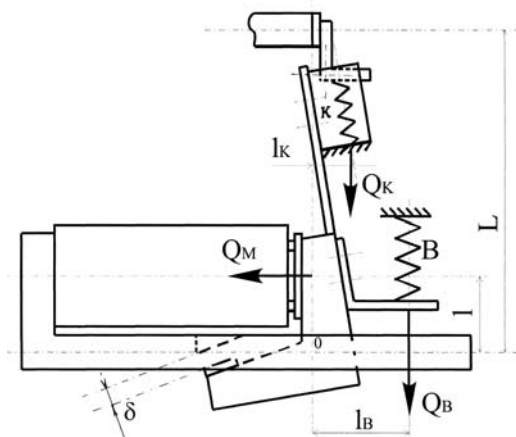


Рис. 2. Кінематична схема контактора МК-310Б

Крім того, для безумовного увімкнення контактора при U_{min} потрібно, щоб сила тяги Q_M при $\delta_{\text{кр}}$ (зазор, за якого головні контакти починають дотикатись), перевищувала силу протидії $Q_{\text{П}\delta_{\text{кр}}}$ у межах 1,2...1,5 [4].

Розглядаємо контактор без блокувальних контактів. Тому на рис. 3 відсутня сила натиснення цих контактів.

У зв'язку із вищевикладеним пропонується перелік робіт при регулюванні контактора після ремонту із розбиранням доповнити вимогою побудови характеристик $Q_M = f(\delta)$ та $Q_{\text{П}}' = f(\delta)$ при U_{min} з метою забезпечення умов безумовного увімкнення контактора при мінімальній напрузі на котушці електромагніту, яка допускається в експлуатації. Для вирішення поставленої задачі потрібно знайти раціональне співвідношення між значеннями повітряного зазору та натисненням пружин.

Пропонується наступний алгоритм вирішення поставленої задачі.

1. Визначаємо різницю $(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}}$ за формулою [5]

$$(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}} = \frac{p_{\text{min}} \cdot l}{L}, \quad (1)$$

де $p_{\min}$ – мінімальний нормований розхил головних контактів;

l – плече дії сили Q_M відносно вісі повороту якоря (рис. 2);

L – відстань між віссю повороту якоря та точкою дотику головних контактів.

Значення δ_0 та інтервалу $(\delta_0 \dots \delta_{кр})$ визначається із досвіду експлуатації контактора конкретного типу.

Тоді:

$$\delta_{відп} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{кр}) + (\delta_{відп} - \delta_{кр})_{\min}.$$

2. Визначаємо Q_M при $\delta_{відп} > \delta_{кр}$, δ_0 [5]:

$$Q_M = 0,5\mu_0 S_{\delta_i} \left(\frac{F}{\delta_i} \right)^2, \quad (2)$$

де $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-7}$ (за умови, що сила вимірюється в ньютонах) – магнітна стала [7];

S_{δ_i} – площа перерізу повітряного зазору між якорем та осердям, m^2 [6]:

$$S_{\delta_i} = S_T \left(1 + \frac{2\delta_i}{\sqrt{S_T}} \right), \quad (3)$$

де S_T – площа поверхні полюсного наконечника осердя, m^2 ;

$$F = IW, \quad (4)$$

де F – магніторухливі сила;

$$I = \frac{U_{\min}}{R_{K\max}} - \text{струм у котушці електромагніт-}$$

ту, А;

$R_{K\max}$ – максимально можливий опір котушки;

W – кількість витків у котушці електромагніт-ту.

3. Аналізуємо взаємне розташування $Q_M = f(\delta)$ та $Q_{\Pi} = f(\delta)$ з розробкою відповідних рекомендацій щодо стиснення пружин.

Для прикладу застосуємо запропонований алгоритм у відношенні до контактору МК-310Б при $U_{\min} = 35$ В та максимальному опорі котушки $R_{K\max}$ (рис. 3). Контактори МК-310Б застосовуються на електровозах ВЛ23, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, електропоїздах ЕР2.

$$2.1. (\delta_{відп} - \delta_{кр})_{\min} = \frac{30 \cdot 63}{250} = 7,56 \text{ мм},$$

де $30 \text{ мм} = p_{\min}$; $63 \text{ мм} = l$; $250 \text{ мм} = L$ [3].

$$\delta_0 = 0,5 \text{ мм}; (\delta_0 \dots \delta_{кр}) = 3,3 \text{ мм};$$

$$\delta_{відп} = 3,8 + 7,56 = 11,36 \text{ мм} = 0,01136 \text{ м}.$$

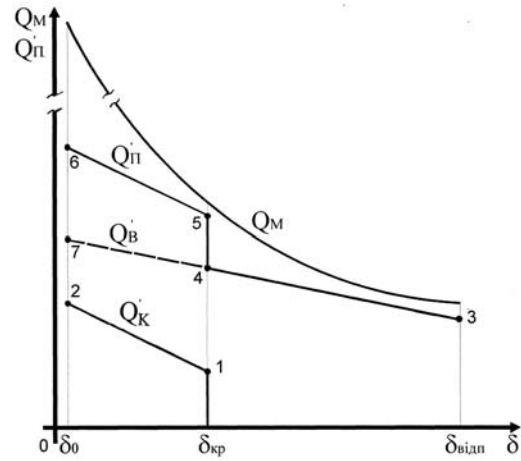


Рис. 3. Тягова та протидіюча характеристики електромагнітного контактора в схемах РС

$$2.2. S_T = 0,00112 \text{ м}^2, I = \frac{35}{65,8} = 0,532 \text{ А}.$$

$$R_{K\max} = 65,8 \text{ Ом}; W = 4840; S_T = 0,00112 \text{ м}^2 [3];$$

$$F = 0,532 \cdot 4840 = 2574,88 \text{ А};$$

$$S_{\delta_{відп}} = 0,00112 \left(1 + \frac{2 \cdot 0,01136}{\sqrt{0,00112}} \right) = 188 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$Q_{M\delta_{відп}} = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 188 \cdot 10^{-5} \left(\frac{2574,88}{0,01136} \right)^2 =$$

$$= 6,1 \text{ Н}.$$

Приймаємо силу протидії вимикальної пружини $Q_{B\delta_{відп}} = Q_{M\delta_{відп}} = 6,1 \text{ Н}.$

Вимикальна пружина має монотонну характеристику із жорсткістю $Z_B = 1 \text{ Н/мм}$ [3].

Значення $Q_{B\delta_{відп}}$ знаходимо із співвідношення [5]:

$$Q_{M\delta_{відп}} \cdot l = Q_{B\delta_{відп}}' \cdot l_B, \quad (5)$$

де $l_B = 73 \text{ мм}$ – плече дії сили $Q_{B\delta_{відп}}'$ (рис. 2);

$$l = 63 \text{ мм} [3].$$

$$Q_{B\delta_{відп}}' = \frac{6,1 \cdot 63}{73} = 5,26 \text{ Н}.$$

Початкове стиснення вимикальної пружини

$$\left(\frac{Q_{B\delta_{відп}}'}{Z_B} \right) = \frac{5,26 \text{ Н}}{1 \text{ Н/мм}} = 5,26 \text{ мм}.$$

При зменшенні зазору до $\delta_{кр}$ вимикальна пружина додатково стискається на $7,56 \cdot \frac{73}{63} = 8,76 \text{ мм}$, де $l_B = 73 \text{ мм}$ – відстань між віссю обертання якоря та точкою прикладання Q_B [3].

Тоді приведена сила у точці 4 (рис. 3):

$$Q'_{B_4} = Q'_{P_4} = \frac{(Q_{B_{\delta_{\text{відп}}}} + Z_B \cdot 8,76) \cdot 73}{63} = \\ = \frac{(6,1 + 1 \cdot 8,76) \cdot 73}{63} = 17,2 \text{ Н};$$

$$\delta_{\text{кр}} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) = 0,5 + 3,3 = 3,8 \text{ мм} = 0,0038 \text{ м};$$

$$S_{\delta_{\text{кр}}} = 0,00112 \left(1 + \frac{2 \cdot 0,0038}{\sqrt{0,00112}} \right) = 137 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}} = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 137 \cdot 10^{-5} \left(\frac{2574,88}{0,0038} \right)^2 = \\ = 39,5 \text{ Н};$$

$$Q'_{P_5} = Q'_{P_{\delta_{\text{кр}}}} = Q'_{P_4} + Q_{K_1} \cdot \frac{l_K}{l} = \\ = 17,2 + 13 \cdot \frac{26}{63} = 22,56 \text{ Н}.$$

Приймаємо початкове натиснення силових контактів (визначається силою натиснення контактної пружини):

$$Q_{K_1} = 13 \text{ Н [3];}$$

$$l_K = 26 \text{ мм} - \text{плече дії сили } Q_K \text{ [3];}$$

$$Q'_{K_5} = Q'_{K_1} = Q_K \cdot \frac{l_K}{l} = 13 \cdot \frac{26}{63} = 5,36 \text{ Н};$$

$$Q_{P_5} = Q_{P_{\delta_{\text{кр}}}} = Q_{P_4} + Q_{K_1} = 14,84 + 13 = 27,84 \text{ Н};$$

$$Q_{P_4} = \frac{Q'_{P_4} \cdot l}{l_B} = \frac{17,2 \cdot 63}{73} = 14,84 \text{ Н};$$

$$Z_K = 3,24 \text{ Н/мм [3].}$$

Кінцеве натиснення силових контактів:

$$Q_{K_6} = Q_{K_2} = Q_{K_1} + Z_K (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) = 13 + 3,24 \cdot 3,8 = \\ = 25,3 \text{ Н};$$

$$Q'_{K_6} = Q_{K_6} \cdot \frac{l_K}{l} = 25,3 \cdot \frac{26}{63} = 10,44 \text{ Н}.$$

$$Q_{M_{\delta_0}} = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 115 \cdot 10^{-5} \left(\frac{2574,88}{0,0005} \right)^2 \approx \\ \approx 1915 \text{ Н};$$

$$S_{\delta_0} = 0,00112 \left(1 + \frac{2 \cdot 0,0005}{\sqrt{0,00112}} \right) = 115 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Відмітимо, що $Q_{M_{\delta_0}}$ визначено для поповнення інформації. Для вирішення поставленої задачі досить знати $Q_{M_{\delta_{\text{відп}}}}$ та $Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}}$.

Нормоване кінцеве натиснення силових контактів дорівнює 18...27 Н [3].

Початкове стиснення контактної пружини:

$$\frac{Q_K}{Z_K} = \frac{13}{3,24} = 4,01 \approx 4 \text{ мм}.$$

Кінцеве стиснення контактної пружини:

$$\frac{Q_{K_6}}{Z_K} = \frac{25,3}{3,24} = 7,8 \text{ мм}.$$

При отриманих параметрах контактора при U_{min} :

- забезпечено мінімальне нормоване значення розхилу силових контактів $p_{\text{min}} = 30 \text{ мм}$;

- забезпечено значення початкового (13 Н) та кінцевого (25,3 Н) натиснення силових контактів в межах норм.

При цьому:

$$- \left(\frac{Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}}}{Q_{P_5}} \right) = \left(\frac{39,5}{27,84} \right) = 1,42,$$

що відповідає умові: $\left(\frac{Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}}}{Q_{P_{\delta_{\text{кр}}}}} \right) = 1,2 \dots 1,5$.

ВИСНОВКИ

З метою забезпечення безумовної працездатності електромагнітних контакторів при мінімальній напрузі кіл керування РС залізниць пропонується у перелік робіт з регулювання контакторів після ремонту з розбиранням ввести отримання тягової статичної характеристики та характеристики протидії з відповідним аналізом їх взаємного розташування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 2773-94. Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови. [Текст]: Держстандарт України. – К., 1996. – 75 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]: Государственный стандарт Союза ССР. – М., 1990.
3. Осмотр и ремонт электромагнитных контакторов при технических обслуживаниях и текущих ремонтах отечественных электровозов постоянного тока [Текст]: технологическая инструкция ТИ 484. – М., 1982.
4. Таев, И. С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст] / И. С. Таев. – М.: Высш. шк., 1975. – 223 с.
5. Тихменев, Б. Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты [Текст] / Б. Н. Тихменев, Л. М. Трахман. – М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
6. Сахаров, П. В. Проектирование электрических аппаратов. Общие вопросы проектирования. [Текст] / П. В. Сахаров. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
7. Электротехнический справочник [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.

Надійшла до редколегії 11.01.2010.

Прийнята до друку 21.01.2010.

МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ

Розглянуто питання діагностування дизелів та природа виникнення нерівномірності обертання колінчастого вала. Наведено результати моделювання нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизеля типу 1Д12. На підставі моделювання отримано залежності, відповідні прояву дефектів в роботі вузлів дизеля.

В статье рассмотрены вопросы диагностирования дизелей, рассмотрена природа возникновения неравномерности вращения коленчатого вала. Приведены результаты моделирования неравномерности частоты вращения коленчатого вала дизеля типа 1Д12. На основании моделирования получены зависимости, соответствующие проявлению дефектов в работе узлов дизеля.

In the article the issues of diagnostics of diesels are considered; the nature of origin of irregularity of crankshaft rotation is considered. The results of simulation of irregularity of crankshaft rotation frequency for diesel of type 1D12 are presented. On the basis of simulation the dependences corresponding to the manifest of defects in operation of diesel units are obtained.

Одним з перспективних напрямків розвитку локомотивного господарства є поступовий перехід від планово-попереджувальної системи ремонту рухомого складу до технічного обслуговування по фактичному технічному стану. Система утримання по фактичному передбачає виконання ремонтів по мірі фактичної необхідності, а не через жорстко призначені терміни, які нерідко виявляються невдало вибраними, і це призводить або до непотрібного передчасного розбирання механізмів, або до масштабних ремонтних робіт, які можна було б попередити ліквідацією несправності ще до появи аварійно небезпечного пошкодження. Крім того, кожне розбирання та складання вузлів викликає штучний процес припрацювання, під час якого підвищується інтенсивність зносу деталей.

Перехід до експлуатації рухомого складу за фактичним станом можливий лише за наявності ефективних автоматизованих систем технічного діагностування, призначених для оцінки стану технічних об'єктів, пошуку несправностей і визначення їх причин, прогнозування залишкового ресурсу механізмів і визначення термінів профілактичного ремонту.

На тепловозі дизель є одним із найскладніших і найвідповідальніших вузлів, від надійності роботи якого залежить надійність роботи тепловоза в цілому, крім того, стан дизеля впливає на економічність тепловоза. Визначення технічного стану вузлів дизеля без його розбирання дозволить значно скоротити витрати на його ремонт.

На основі аналізу існуючих методів нерозбірного діагностування дизеля можемо зробити висновки, що розглянуті методи та побудовані на їх основі комплекси діагностування ДВЗ мають недоліки, основними з яких є:

- великі трудовитрати, пов'язані з частковим розбиранням двигуна і монтажем діагностичного устаткування;
- технічні засоби, за допомогою яких виконується діагностування, не уніфіковані для використання на різних типах двигунів.

Аналіз методів та способів діагностування ДВЗ дозволив дійти висновку, що серед існуючих методів метод діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого вала дизеля являє собою перспективний напрям у розвитку методів нерозбірного діагностування ДВЗ, використання якого дозволить збільшити достовірність результатів діагностування і прогнозувати подальшу експлуатацію дизеля. При цьому методі діагностування в якості діагностичного параметра використовується частота обертання колінчастого вала. Цей параметр комплексно характеризує якість роботи двигуна.

Нерівномірність обертання вала двигуна пояснюється, перш за все, імпульсною складовою обертаючого моменту в кожному з його циліндрів. Крім того, якщо вважати, що момент опору обертанню вала при сталому режимі є постійним, і порівняти значення цього моменту з обертаючим моментом двигуна, що безперервно змінюється, то ясно, що при спалахах в циліндрах обертаючий момент буде більше моме-

нту опору, а в періоди між спалахами – менше. Прийнято говорити, що в першому випадку має місце надлишок обертаючого моменту, а в другому – нестача.

Для оцінки нерівномірності обертання вала протягом одного періоду зміни сумарного обертаючого моменту від всіх циліндрів двигуна введено поняття ступеня нерівномірності обертання, що є відношенням різниці максимальної і мінімальної кутових швидкостей обертання вала до середньої кутової швидкості. Чим менше ступінь нерівномірності вала, тим більш рівномірно він обертається. Зменшення нерівномірності обертання або доведення її до необхідних меж досягають зазвичай установкою маховика на колінчастому валу. Маховик виконує роль акумулятора механічної енергії мас, що обертаються: він накопичує її в періоди надлишку обертаючого моменту, а в моменти нестачі – віддає.

Крім того, на рівномірність обертання вала впливає число циліндрів в двигуні. У багатоциліндровому ДВЗ колінчастий вал сприймає обертаючі моменти по черзі від всіх циліндрів. Дія цих моментів не співпадає за часом, оскільки кривошипи розташовані не в одній площині, а під певним кутом один до одного. Тому збільшення числа циліндрів пов'язане з частішою зміною обертаючого моменту в двигуні, а, отже, з більш рівномірним обертанням колінчастого вала.

При діагностуванні двигунів внутрішнього згорання зазвичай прийнято вважати, що кутова швидкість обертання колінчастого вала при сталому режимі постійна, отже кут його повороту пропорційний часу. Обертовий момент дизеля врівноважується моментом опору і моментом дотичних сил інерції рухомих мас, приведених до колінчастого вала.

Для будь якого моменту часу:

$$M_{об} = M_{оп} + I_o \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

де $M_{оп}$ – момент, що враховує опір навантаження, сил тертя і витрати енергії на привод допоміжних механізмів;

I_o – момент інерції рухомих мас, приведений до колінчастого вала;

$\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення вала.

При сталому режимі роботи діють середні значення моментів, але оскільки період і характер фактичних змін цих моментів не збігаються,

то неминуче виникають коливання кутової швидкості вала, тобто:

$$M_{об} - M_{оп} = I_o \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

Значна частина нерівномірності обертання вала компенсується моментами інерції механізму урівноваження і сполучених з його валом агрегатів. Тому за допомогою звичайних тахометрів визначити нерівномірність обертання вала дизеля не є можливим.

У більшості систем діагностування за нерівномірністю частоти обертання вала ДВЗ використовуються індукційний або оптичний датчики, які подають сигнали відповідно проходженню зубів вінцевої шестерні біля (через) них. Такий спосіб виміру має недоліки, головний з яких: невелика та нестабільна точність із-за зношення та змашування зубів шестерні. Крім того, індукційний датчик має неідеальні магнітні властивості й тому не в змозі чітко фіксувати наближення зуба шестерні при великій його швидкості. А оптичний датчик у силу того, що вінцева шестерня знаходиться не в герметичному відсіку, має ризик забруднитися змащенням чи пилом або спрацювати на бризки змащення.

Датчик кутової швидкості повинен відповідати ряду вимог:

- спроможність заміряти частоту обертання в межах одного оберту з достатньою точністю;
- малогабаритність;
- зручність монтажу та демонтажу;
- робоча частота обертання не менше номінальної частоти обертання дизеля (не менш ніж 1500 хв^{-1});
- незалежність надійності та точності виміру від умов зовнішнього середовища.

На основі наведених вимог пропонується використання інкрементального оптичного датчика кутового переміщення (енкодер).

В якості об'єкту експериментальних досліджень було обрано дизель 1Д12-400.

Дизель 1Д12 є чотиритактним швидкохідним безкомпресорним без наддування з рідинним охолодженням та струменевим розпилюванням палива. Розташування циліндрів – V-подібне у двох блоках під кутом 60° . Аналітично було розраховано індикаторну діаграму робочого процесу для номінального режиму (рис. 1) експериментального дизеля. Також розраховано індикаторні діаграми робочих процесів при зниженому на 1 МПа тиску P_z відносно номінального режиму та при вимкненій подачі палива (рис. 2).

Для моделювання впливу несправностей робочого процесу на частоту обертання колінчастого вала створено спрощену твердотілу модель дизеля 1Д12 в масштабі 1:1. Вона складається з 62 елементів, серед яких: картер, колінчастий вал, по 12 поршнів і поршневих пальців, по 6 основних та причіпних шатунів та їх паль-

ців. На рис. 3 зображено інтерфейс програми Autodesk Inventor для створення зборки моделі з твердотілих елементів. Вікно програми складається зі стандартної панелі інструментів, анімаційного вікна, браузера елементів та панелі інструментів для створення моделі.

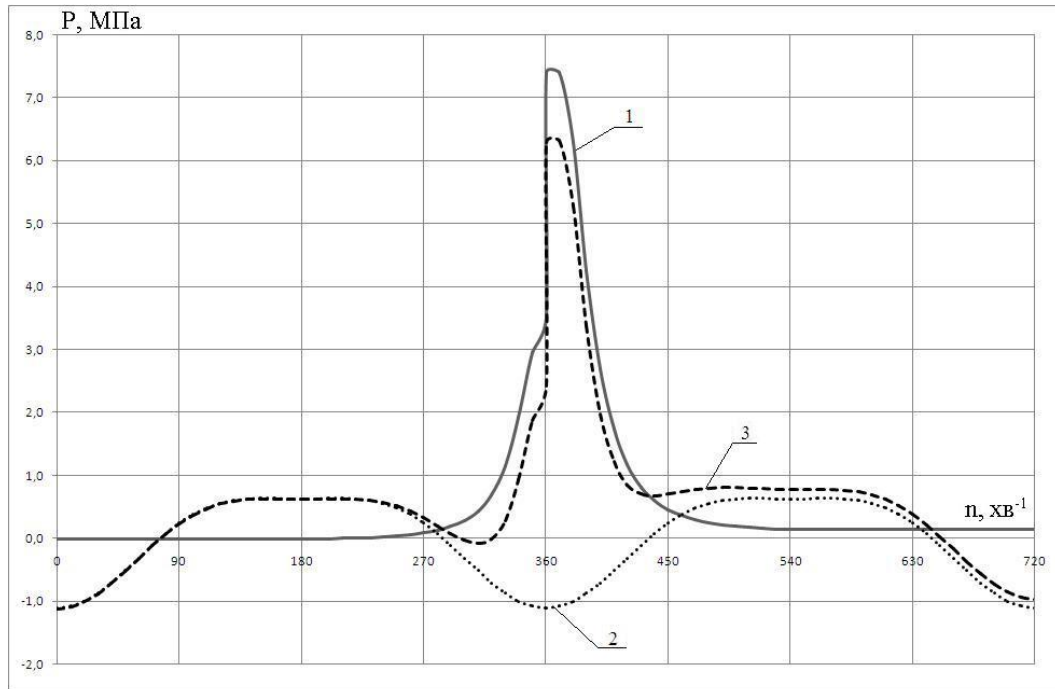


Рис. 1. Графіки залежності питомих зусиль від кута φ для одного циліндра при частоті обертання $n = 1500$ об/хв:

1 – P_1 , сила тиску газів; 2 – P_2 , сила інерції; 3 – P_3 , сумарна сила, що діє на поршень

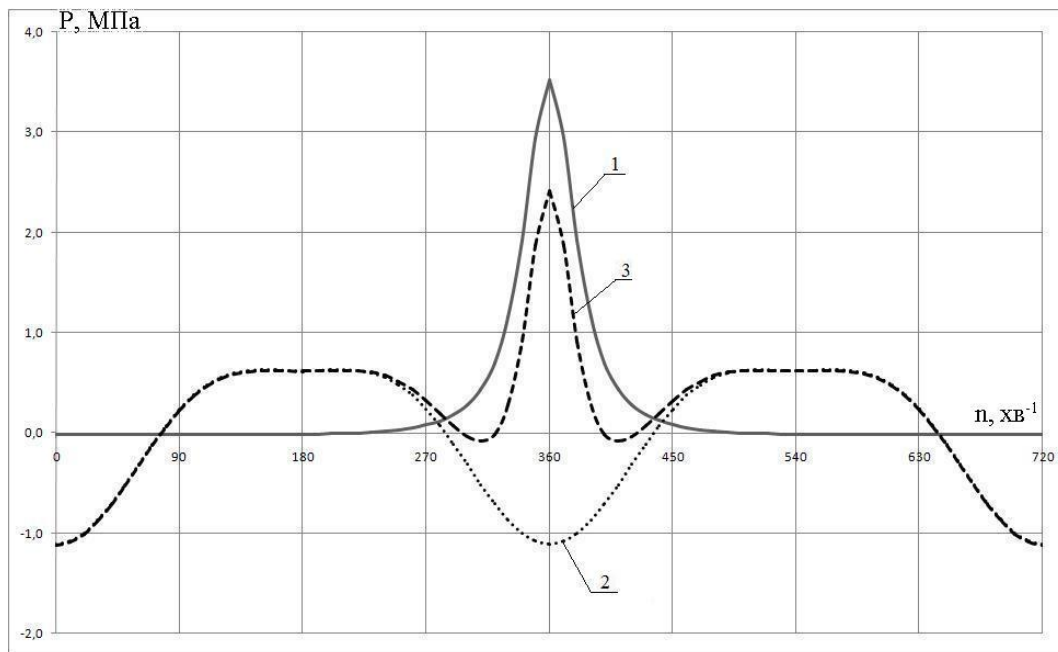


Рис. 2. Графіки залежності питомих зусиль від кута φ для одного циліндра при нульовій подачі палива при частоті обертання $n = 1500$ об/хв:

1 – P_1 , сила тиску газів; 2 – P_2 , сила інерції; 3 – P_3 , сумарна сила, що діє на поршень

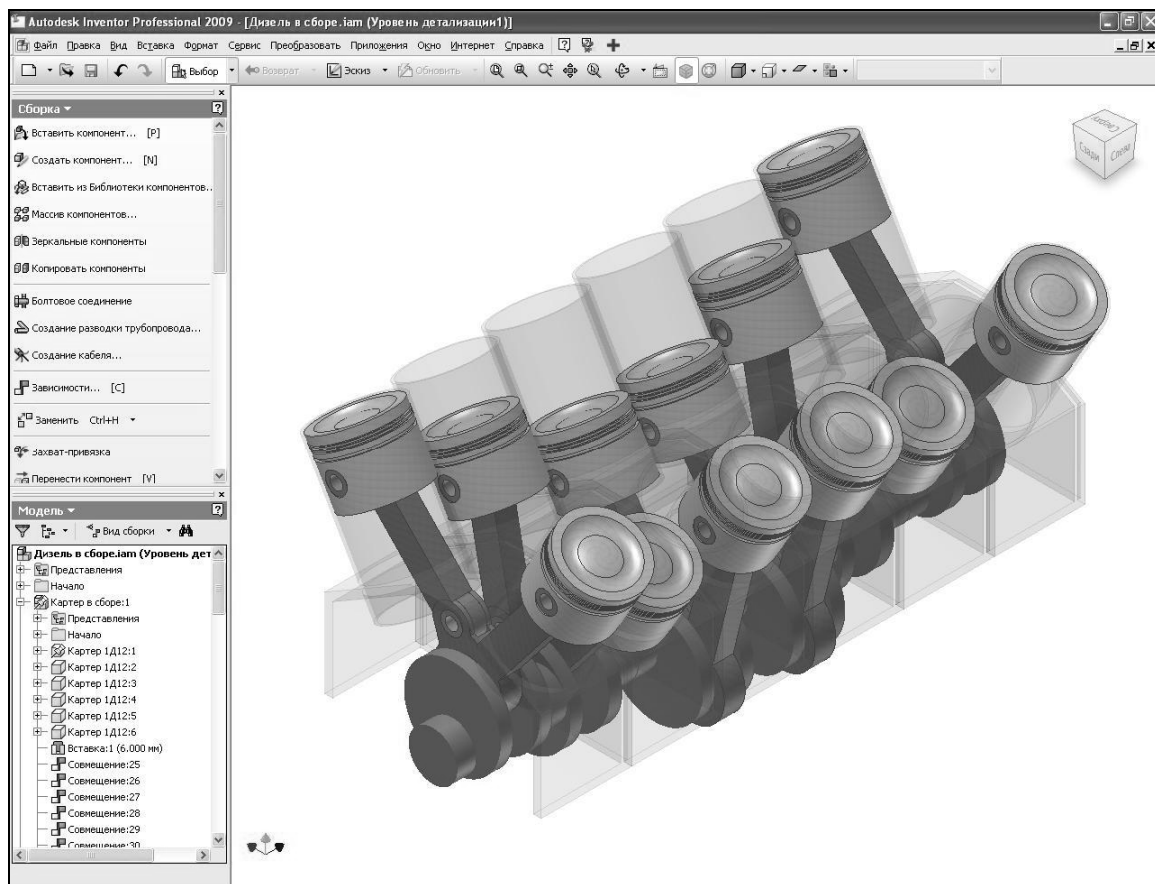


Рис. 3. Вид вікна створення зборки у програмі Autodesk Inventor

Експерименти з імітаційною моделлю були проведені в чотири етапи, і на кожному етапі проводилось по два експерименти: при номінальній частоті обертання колінчастого вала –

1500 хв^{-1} , та на режимі холостого ходу – 500 хв^{-1} . Вихідними даними експериментів є графічні залежності частоти обертання від часу (рис. 4).

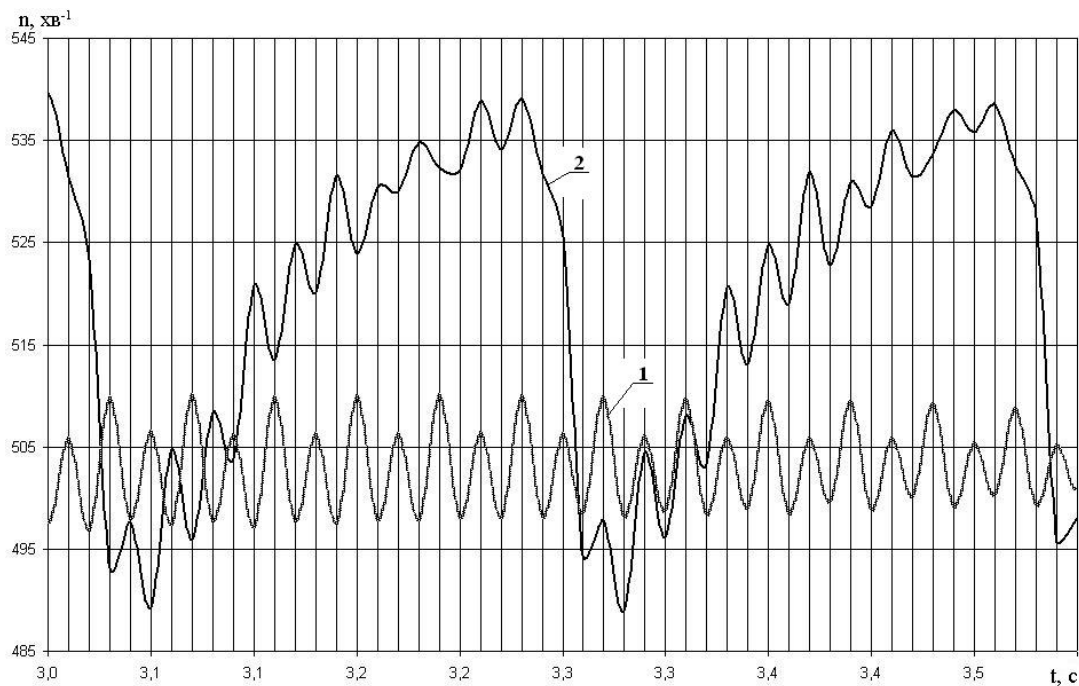


Рис. 4. Залежність частоти обертання колінчастого вала моделі дизеля від часу на режимі холостого ходу:
1 – нормальна робота всіх циліндрів, 2 – для першого правого циліндра подачу палива вимкнено

За результатами моделювання можна зробити такі висновки:

- порушення у роботі навіть одного з циліндрів суттєво впливають на нерівномірність частоти обертання колінчастого вала дизеля при сталому режимі (табл. 1);

- діагностування дизеля раціональніше проводити на обертах холостого ходу, тому що несправності проявляються більшою мірою саме при низьких частотах обертання колінчастого вала.

Таблиця 1

Результати моделювання

Режим роботи	Амплітуда коливань частоти обертання, об/хв			
	Нормальна робота	1П циліндр без палива	1П циліндр зі зниженим P_z	1П, 3Л циліндри зі зниженим P_z
Номінальний, 1500 об/хв	3	22	13	21
Холостий хід, 500 об/хв	3	82	58	69

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кончаков, Е. И. Техническая диагностика судовых энергетических установок [Текст] : учеб. пособие / Е. И. Кончаков. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 112 с.
2. Борщенко, Я. А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Курган. гос. ун-т. – Курган, 2003. – 21 с.
3. Боднар, Б. Е. Теоретические основы, опыт создания систем испытания и диагностирования тепловозов с гидродинамической передачей:

дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Боднар Борис Евгеньевич; Днепропетр. гос. техн. ун-т ж/д трансп. – Д., 1997. – 366 с.

4. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Э. Симсона. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
5. Тепловоз ТГМ23 [Текст] / под ред. Ю. С. Бибикова. – М.: Транспорт, 1973. – 200 с.
6. Тепловоз ТГМ1 [Текст] / под ред. Ю. С. Бибикова. – М.: Транспорт, 1974. – 216 с.

Надійшла до редколегії 17.12.2009.
Прийнята до друку 29.12.2009.

ОРГАНІЗАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Запропоновано математичну модель визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з урахуванням її початкової якості та мінімальних витрат на виконання відновлювальних робіт з метою побудови раціональної системи її утримування.

Предложена математическая модель определения остаточного ресурса изоляции тяговых электрических машин локомотивов с учетом ее начальной электрической прочности и минимальных затрат на выполнение восстановительных работ с целью построения рациональной системы ее содержания.

The mathematical model for determination of remaining resource of insulation of the locomotive hauling electric machines, taking into account its initial electric durability and minimum expenses on implementation of restoration works with the purpose of construction of the rational system of its maintenance, is offered.

До числа факторів, що визначають техніко-економічну ефективність та експлуатаційну надійність тягових електродвигунів локомотивів, входять показники властивостей ізоляції, які, в свою чергу, залежать від властивостей матеріалів, з яких виготовлена ізоляційна конструкція, рівня технологічного забезпечення, виконавчої дисципліни та якості контролю як під час виготовлення, так і в процесі експлуатації.

Щоб визначитись із якістю відновлювальних робіт по ізоляційній конструкції під час виконання капітальних ремонтів ТЕД, протягом десяти років проводились спостереження за групами ТЕД НБ-406, які встановлені на електровозах серії ВЛ8 депо Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці. Зокрема проводилися заміри зворотної напруги $U_{зв}$ [1, 2] ізоляції ТЕД НБ-406, що проходили капітальний ремонт (КР1) на Львівському локомотиворемонтному заводі (ЛЛРЗ), Запорізькому електровозоремонтному заводі (ЗЕРЗ) та Смілянському електромеханічному ремонтному заводі (СемРЗ) та в процесі експлуатації (рис. 1).

Якість ізоляції ТЕД НБ-406 після ремонту та в процесі експлуатації оцінювалась величиною $U_{зв}$, математична модель якої має наступний вигляд:

$$U_{зв}(l) = U_{зв}(0) \cdot e^{-bl}, \quad (1)$$

де l – пробіг (за одиницю напрацювання в подальшому для розрахунків приймаємо 100 тис. км).

Відновлення якості ізоляції можливе в умовах локомотивного депо під час виконання ПРЗ

та в умовах локомотиворемонтного заводу при КР1, КР2.

Якщо відновлення властивостей ізоляції буде здійснюватися під час виконання ПРЗ з періодом по напрацюванню $x = 330\,000$ км [3], то $U_{зв}$ будемо описувати математичною залежністю наступного вигляду:

$$U_{зв}(l/x) = U_{зв}(0) \cdot e^{-b \cdot (l - \gamma x \left[\frac{l}{x} \right])}, \quad (2)$$

де $\left[\frac{l}{x} \right]$ – ціла частина від (l/x) ;

γ – характеристика рівня відновлення ізоляції під час виконання ПРЗ.

В подальшому вважаємо, що відлік напрацювання l починається від ремонту КР1.

Характеристика параметрів моделі $U_{зв}$ в процесі експлуатації з урахуванням початкової якості ізоляції, тобто якості ремонту ТЕД НБ-406 локомотиворемонтними заводами наведена в табл. 1, де параметр a визначався із виразу:

$$a = \frac{\ln(U_{зв}/U_{зв}(0))}{-b}.$$

Значення цього параметру дозволяє визначити напрацювання $l_{від}$, коли $U_{зв}(l/x) = U_{зв}$, при періоді напрацювання x між деповськими відновленнями ізоляції.

З врахуванням (2) $l_{від}$ визначається як рішення рівняння

$$l - \gamma \cdot x \cdot \left[\frac{l}{x} \right] = a. \quad (3)$$

$$\left(\frac{-l_{\text{від}}(x)}{Z(x)} \right) \rightarrow \min \quad (4)$$

Так, при фіксованій періодичності, коли $x = 330\,000$ км, значення $l_{\text{від}}$ по заводах складало (табл. 2).

Тепер і виникає задача визначення такої періодичності деповського ремонту, щоб напрацювання на відмову було, по можливості, найбільшим, а витрата коштів на виконання відновлень – найменшою, тобто приходимо до задачі векторної оптимізації [4]:

за умови $\underline{l} \leq x \leq a$, де $\underline{l}$ – мінімально допустимий пробіг до виконання робіт по відновленню ізоляції в умовах депо. Обмежимося пробігом між відновленнями не менше ніж 1000 км.

Рішення задачі (4) визначення раціональної системи утримування ізоляції ТЕД виконувалось з використанням математичного пакету MAPLE 7.

Результати моделювання представлені у вигляді табл. 3, 4, 5.

Таблиця 1

Завод	$U_{\text{зв}}, \text{В}$	γ	b	a	$C_{(\text{ПРЗ})}, \text{грн}$	$C_{(\text{КРП})}, \text{грн}$
ЛЛРЗ	955	0,4	0,4	5,64	2400	4650
ЗЕРЗ	1100	0,55	0,35	6,851	2400	5160
СемРЗ	1269,5	0,49	0,37	6,844	2400	6240

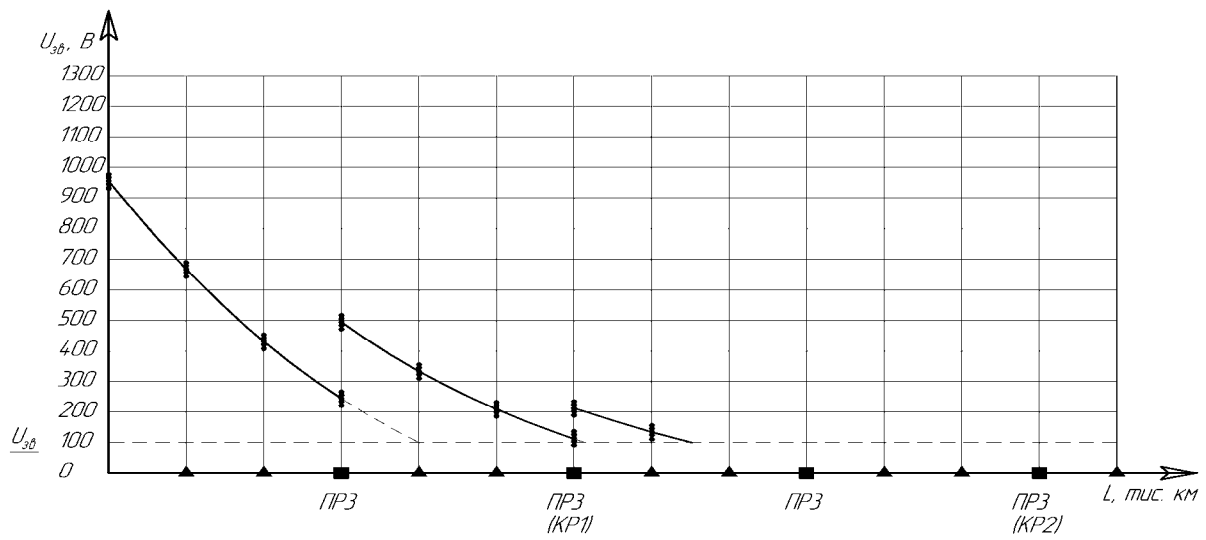
Таблиця 2

Завод, де виконувалося відновлення ізоляції	Напрацювання до відмови $l_{\text{від}} \times 10^5, \text{км}$	Витрати коштів на відновлення $Z(\text{ПРЗ}), \text{грн}$	Витрати коштів $Z(\text{ПРЗ}) + C_{\text{КРП}}, \text{грн}$	Питомі витрати, коп/км
ЛЛРЗ	8,28	4800	9650	1,165
ЗЕРЗ	12,29	7200	12360	1,005
СемРЗ	11,74	7200	13440	1,149

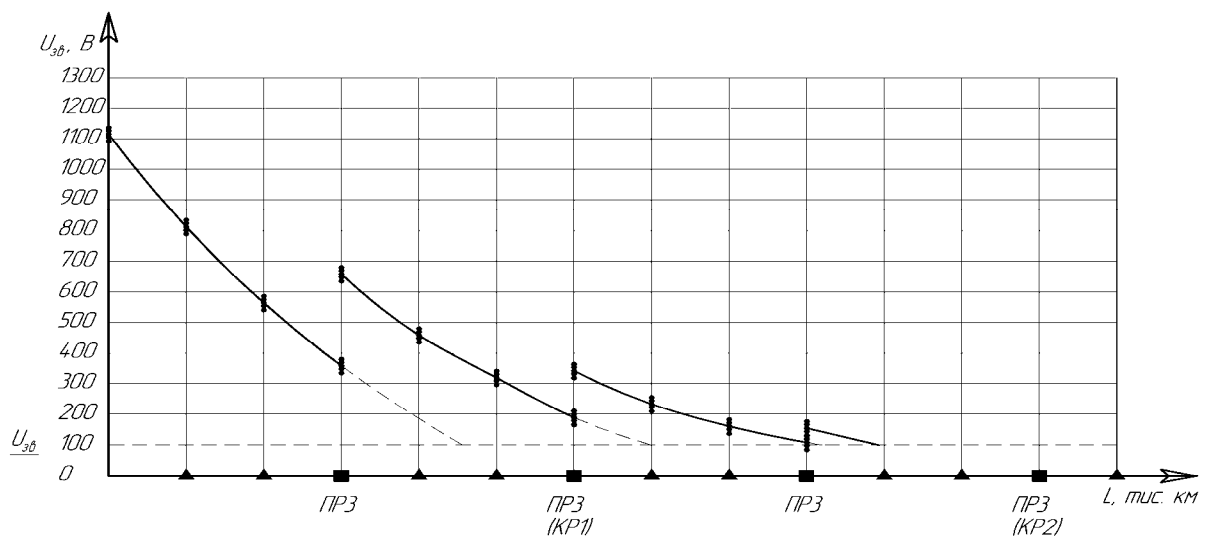
Таблиця 3

Результати розрахунків періодичностей виконання деповського ремонту для ТЕД НБ-406, ЛЛРЗ

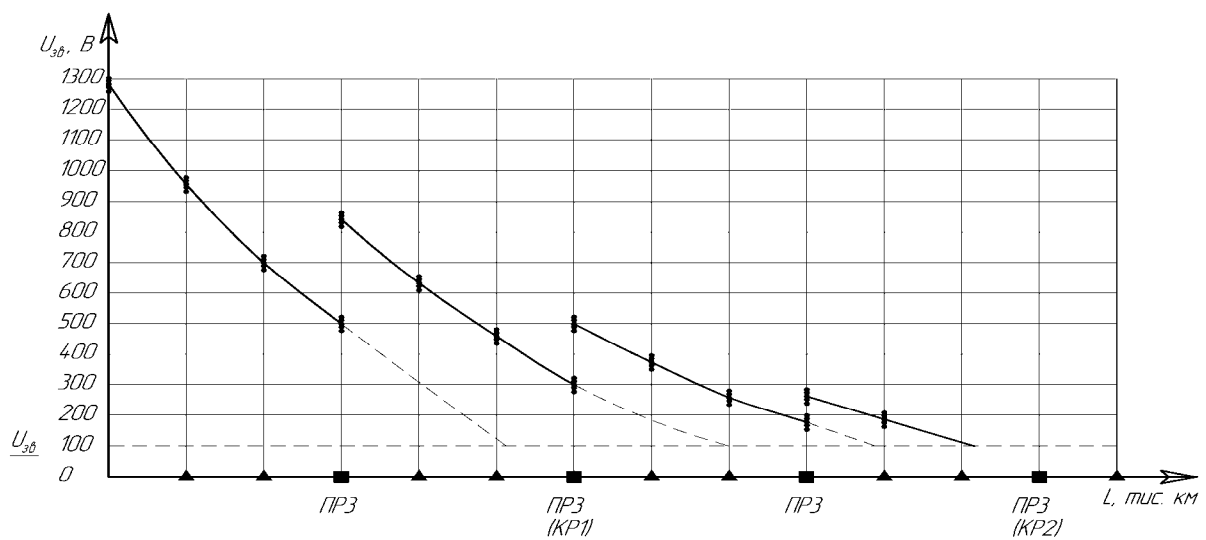
Періодичність виконання деповського ремонту $x \times 10^5, \text{км}$	Напрацювання до відмови $l_{\text{від}} \times 10^5, \text{км}$	Кількість деповських ремонтів n	Витрати на відновлення ізоляції $Z, \text{грн}$	Питомі витрати на відновлення ізоляції $z, \text{коп/км}$
0,101	9,358	92	225450	24,091
0,201	9,339	46	115050	12,318
0,301	9,253	30	76650	8,283
0,501	9,243	18	47850	5,173
0,801	9,165	11	31050	3,387
1,201	9,004	7	21450	2,382
1,401	9,003	6	19050	2,115
1,601	8,844	5	16650	1,882
2,000	8,842	4	14250	1,611
2,501	8,645	3	11850	1,371
3,501	8,442	2	9450	1,119
5,602	7,888	1	7050	0,894



ТЕД НБ-406 – ЛЛРЗ



ТЕД НБ-406 – ЗЛРЗ



ТЕД НБ-406 – СемРЗ

Рис. 1. Залежність величини пробігу ТЕД L від початкової якості ізоляції U_{30}

Таблиця 4

Результати розрахунків періодичностей виконання деповського ремонту для ТЕД НБ-406, ЗЕРЗ

Періодичність виконання деповського ремонту, $x \times 10^5$, км	Напрацювання до відмови, $l_{\text{від}} \times 10^5$, км	Кількість деповських ремонтів, n	Витрати на відновлення ізоляції, Z , грн	Питомі витрати на відновлення ізоляції, z , коп/км
0,11	15,13	137	333960	22,058
0,21	15,05	71	175560	11,663
0,31	15,03	48	120360	8,005
0,41	14,74	35	89160	6,047
0,51	14,71	28	72360	4,920
0,71	14,66	20	53160	3,625
1,01	14,62	14	38760	2,649
1,71	14,37	8	24360	1,694
1,81	13,81	7	21960	1,589
3,11	13,69	4	14760	1,077
3,51	12,64	3	12360	0,977
4,71	12,03	2	9960	0,827
6,81	10,59	1	7560	0,713

Таблиця 5

Результати розрахунків періодичностей виконання деповського ремонту для ТЕД НБ-406, СемРЗ

Періодичність виконання деповського ремонту, $x \times 10^5$, км	Напрацювання до відмови, $l_{\text{від}} \times 10^5$, км	Кількість деповських ремонтів, n	Витрати на відновлення ізоляції, Z , грн	Питомі витрати на відновлення ізоляції, z , коп/км
0,11	13,53	123	301440	22,276
0,21	13,48	64	159840	11,850
0,41	13,32	32	83040	6,229
0,81	13,25	16	44640	3,368
1,61	13,21	8	25440	1,925
1,91	12,51	6	20640	1,650
2,21	12,30	5	18240	1,482
2,71	12,21	4	15840	1,298
3,31	11,75	3	13440	1,143
4,51	11,30	2	11040	0,976
6,81	10,21	1	8640	0,846

Аналізуючи отримані результати, вибираємо періодичність відновлення ізоляції при обмеженнях (4) і представимо у вигляді табл. 6.

Таким чином, запропонована методика визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з урахуванням

початкової її якості та питомих витрат на відновлення дає можливість замовнику (локомотивному депо) вибирати виконавця (локомотиворемонтний завод) для проведення відновлювальних робіт.

Запропонована періодичність відновлення властивостей ізоляції ТЕД НБ-406

Завод, де виконувався КР1	Періодичність виконання деповського ремонту $x \times 10^5$, км	Напрацювання до відмови $l_{\text{від}} \times 10^5$, км	Питомі витрати на відновлення ізоляції z , коп/км
ЛЛРЗ	3,501	8,442	1,119
ЗЕРЗ	3,51	12,64	0,977
СмеРЗ	4,51	11,30	0,976

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боднар, Б. Є. Сучасні методи контролю поточного стану ізоляції тягових електричних машин локомотивів [Текст] / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, В. М. Ляшук // Залізнич. трансп. України. – 2006. – № 2. – С. 22-26.
2. Капіца, М. І. Як відмовитись від передчасного руйнування ізоляції тягових електричних машин локомотивів під час проведення випробувань [Текст] / М. І. Капіца, В. М. Ляшук, Д. В. Бобир // Зб. наук. пр. Київського ун-ту економіки і технологій трансп. Мінтрансв'язку

- України: Сер. «Трансп. системи і технології». – Вип. 9. – К.: КУЕТТ, 2006. – С. 69-77.
3. Правила ремонту електричних машин електро-возів і електропоїздів. № ЦТ-0063 [Текст] : Наказ Міністерства транспорту України від 27.02.2003 №53-Ц
4. Босов, А. А. Векторная оптимизация функций множества [Текст] / А. А. Босов, М. И. Капица // Наук. пр. Донецького нац. техн. ун-ту. – 2002. – Вип. 48. – С. 173-179.

Надійшла до редколегії 02.12.2009.
Прийнята до друку 21.12.2009.

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕСУВАННЯМ РУХОМОГО СКЛАДУ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Наведено структуру моделі системи управління пересуванням рухомого складу для імітаційного моделювання процесу розформування-формування вантажних поїздів на сортувальних гірках. Модель побудована на основі зважених орієнтованих графів. Модель може використовуватись у програмних комплексах для оцінки плану та профілю сортувальних гірок, а також у комп'ютерних тренажерах чергових по гірці.

Приведена структура модели системы управления передвижением подвижного состава для имитационного моделирования процесса расформирования-формирования грузовых поездов на сортировочных горках. Модель построена на основании взвешенных ориентированных графов. Модель может использоваться в программных комплексах для оценки плана и профиля сортировочных горок, а также в компьютерных тренажерах дежурных по горке.

The structure of control system model of rolling stock movement for simulation of a process of braking-up and making-up of freight trains on hump yards is presented. The model is made on the basis of weighted directed graphs. The model can be used in computer simulators for switching foremen as well as in software complexes for estimation of plan and profile of hump yards.

Значні витрати енергоресурсів в господарстві перевезень припадають на сортувальні станції, що виконують операції з масового розформування-формування составів вантажних поїздів, і зокрема на сортувальні гірки. Удосконалення управління розпуском составів повинно забезпечити вирішення задач зменшення кількості випадків пошкодження вагонів, підвищення продуктивності гірок, зменшення обсягів маневрової роботи по ліквідації наслідків нерозділення відчепів на стрілках та «вікон» на сортувальних коліях, скорочення енергетичних витрат на роботу уповільнювачів, покращення умов праці робітників гірки та ін. Вирішення вказаних задач може бути досягнуто за рахунок удосконалення конструкції, технічного забезпечення і систем управління сортувальних гірок. Ефективним засобом для техніко-експлуатаційного аналізу та оцінки ефективності різноманітних заходів, спрямованих на удосконалення сортувального процесу, є імітаційне моделювання роботи гірки. В сучасних умовах оцінка конструкції сортувальних гірок виконується на підставі моделювання скочування окремих відчепів. В той же час ще в [1] обґрунтовано необхідність переходу від моделювання скочування розрахункових відчепів до моделювання розпуску составів. Подібні моделі запропоновані в [2 – 7]. Але наведені моделі використовувались лише для виконання окремих наукових досліджень і не знайшли широкого впровадження у практичну роботу залізниць та про-

ектних установ. Однією з причин цього є недостатня увага до декомпозиції системи. В результаті програмні реалізації наведених моделей є досить складними і вимагають значних витрат часу при синтезі моделей конкретних сортувальних гірок. Для подолання цієї проблеми у [8] запропоновано модульну організацію моделі для імітаційного моделювання станційних процесів, що базується на об'єктно-орієнтованому аналізі станції як системи [9]. Така організація дозволяє, по-перше, спростити параметричний синтез моделей станцій за рахунок розробки та використання спеціалізованих програмних засобів для автоматизованого вводу та контролю вхідної інформації, по-друге, детально досліджувати роботу технічних засобів чи окремі станційні процеси за рахунок внесення змін у окремі базові модулі комплексу. У даній статті викладено основні принципи побудови однієї з базових моделей зазначеного комплексу – моделі системи управління пересуванням рухомого складу (УПРС) на сортувальних гірках.

Модель системи управління пересуванням рухомого складу призначена для імітації базових функцій систем гіркової автоматики. Модель контролює стан ізольованих ділянок стрілочних переводів та гальмівних уповільнювачів, імітує переведення стрілок, переключення сигналів, загальмовування і розгальмовування уповільнювачів по маршрутах руху об'єктів (составів, що насуваються, маневрових локомо-

тивів, відчепів, що скочуються). Під час роботи УПРС взаємодіє з моделлю колійного розвитку (МКР), моделлю технологічного процесу та інформаційною моделлю сортувальної гірки [10]. В основу моделі УПРС покладено модель управління пересуванням рухомого складу на станціях, що обладнані електричною чи маршрутно-релейною централізацією [11], яка була удосконалена для можливості імітації гіркових процесів. При цьому функції та структура даних базової моделі зберігаються для можливості імітації роботи сортувального комплексу в цілому. Необхідно відмітити, що базова модель УПРС імітує лише загальні функції систем гіркової автоматичної централізації та регулювання швидкості відчепів у відповідності з задачами дослідження. При необхідності модель може бути модифікована для імітації конкретних систем за умови збереження інтерфейсних функцій, які забезпечують її взаємодію з іншими складовими моделі сортувальної гірки.

Модель УПРС побудовано на основі зваженого орієнтованого графу $G(V, E)$. Множина

вершин V графа G ділиться на чотири підмножини: стрілочні переводи V^S , сигнали V^C , гальмові уповільнювачі V^R , та ізольовані секції колій V^W . Для розподілу множини вершин графа G на підмножини кожній з них виділені непересічні групи номерів: $N^S = \{1, 2, \dots, 199\}$, $N^C = \{201, 202, \dots, 399\}$, $V^R = \{401, 402, \dots, 599\}$, $V^W = \{601, 602, \dots, 799\}$.

Дугам графа $e \in E$ відповідають ділянки маршрутів скочування відчепів між вершинами. Прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо. Орієнтований граф G у пам'яті ЕОМ представляється списками інцидентності вершин. Для прикладу на рис. 1, а наведено геометричну модель колійного розвитку гірки, а на рис. 1, б оргграф G моделі УПРС, що їй відповідає. Для реалізації заданих функцій граф схеми G доповнюється списками технічних параметрів, що характеризують елементи сортувальної гірки та їх функціональний взаємозв'язок у системі гіркової автоматики.

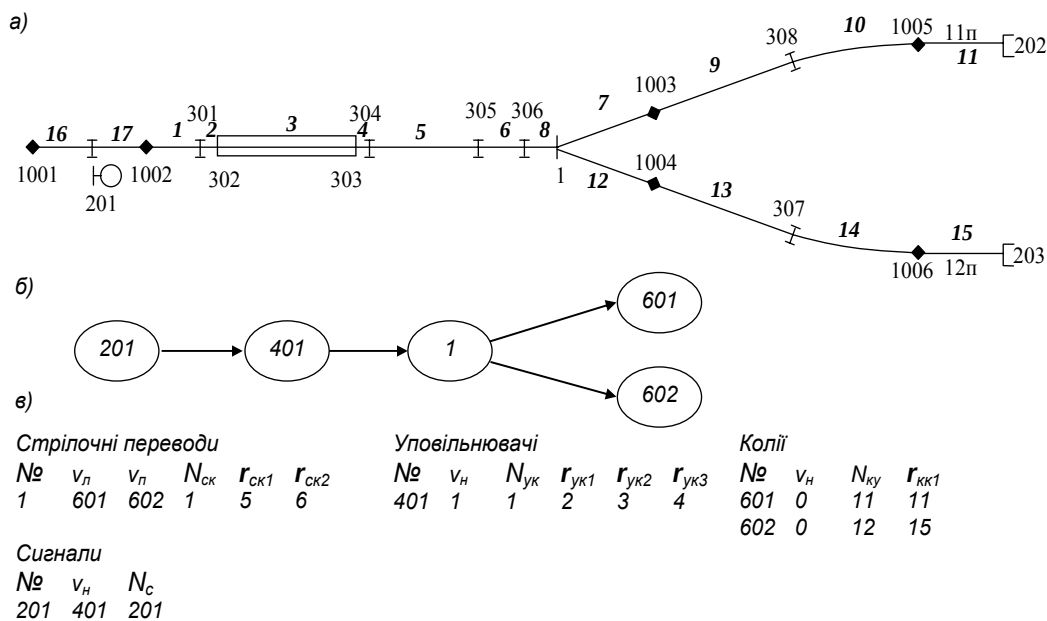


Рис. 1. Представлення сортувальної гірки в моделі: а – геометрична модель колійного розвитку; б – граф моделі системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках; в – представлення системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках у вигляді структур даних

Таким чином, кожній вершині v_i підмножини V^S поставлено у відповідність вектор параметрів:

$$\mathbf{v}_j^s = \{v_l, v_p, N_{ск}, r_{ск1}, r_{ск2}, \mathbf{w}_l, \mathbf{w}_p, s_{cy}, m_{cy}, N_{об}\}, \quad \mathbf{v}_j^s \in S, \\ j = 1, 2 \dots n_s,$$

де v_l, v_p – номери вершин, що пов'язані з даною вершиною, відповідно, в напрямку лівої та правої колії хрестовини стрілочного перевodu;

$N_{ск}$ – ідентифікатор стрілочного перевodu в геометричній моделі колійного розвитку (ГМКР) [10];

$r_{ск}$ – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають ізольованій ділянці стрілочного перевodu;

$\mathbf{w}_l, \mathbf{w}_p$ – списки номерів сортувальних колій, маршрути слідування на які відповідають лівому та правому положенню стрілочного перевodu;

s_{cy} – положення стрілки ($s_{cy} = 0$ – вліво, $s_{cy} = 1$ – вправо);

m_{cy} – режим управління стрілкою ($m_{cy} = 0$ – ручний, $m_{cy} = 1$ – автоматичний);

$N_{об}$ – ідентифікатор об'єкта, що займає ізольовану ділянку, для незайнятих ділянок $N_{об} = 0$.

Останні три параметри є динамічними і змінюються під час моделювання. Заповнення списків w_l , w_n виконується автоматично на підставі аналізу графа G .

Гірочні сигнали описуються наступними структурами:

$$v_i^c = \{v_n, N_c, s_c\}, \quad v_i^c \in C, \\ i = 1, 2, \dots, n_c;$$

де v_n – номер вершини, інцидентної даній;

N_c – ідентифікатор сигналу в ГМКР;

s_c – поточний стан сигналу.

Для вершин, що відповідають гальмівним уповільнювачам $v_i \in V^R$ повинні бути задані наступні параметри:

$$v_i^r = \{v_n, N_{ук}, r_{ук}, s_{уу}\}, \quad v_i^r \in V^R, \\ i = 1, 2, \dots, n_r,$$

де $N_{ук}$ – ідентифікатор уповільнювача в ГМКР;

$r_{ук}$ – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають ізольованій ділянці уповільнювача;

$s_{уу}$ – стан уповільнювача ($s_{уу} = 0$ – розгальмований; $s_{уу} = 1$ – загальмований).

Колійні ділянки описуються наступними структурами:

$$v_i^w = \{v_n, N_{ку}, r_{кк}\}, \quad v_i^w \in V^W, \\ i = 1, 2, \dots, n_w,$$

де $N_{ку}$ – номер колії у відповідності з прийнятою на станції нумерацією;

$r_{кк}$ – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають даній ізольованій ділянці.

Представлення моделі УПРС у вигляді структур даних наведено на рис. 1, в.

Додатково до складу УПРС входить модель маршрутного накопичувача та модуль управління уповільнювачами.

Маршрутний накопичувач представляється списком M , в якому кожному відчепу ставиться у відповідність номер колії його призначення:

$$m_j = \{N_{об}, N_{ку}\}.$$

Заповнення маршрутного накопичувача виконується перед розформуванням кожного состава.

Вибір режимів гальмування відчепів в УПРС забезпечує модуль управління уповіль-

нювачами. В базовій моделі УПРС реалізовано три способи моделювання роботи уповільнювачів: ручне гальмування, автоматичне рівномірне гальмування у всій зоні дії уповільнювачів та автоматичне гальмування повною потужністю уповільнювача в зоні, що регулюється [12]. При цьому в двох останніх випадках режими гальмування визначаються до початку скочування. Кожному уповільнювачу у відповідність ставиться список завдань, елементи якого представляються структурами:

- при рівномірному гальмуванні

$$r_{ур} = \{k, N_{об}, w_r\};$$

- при гальмуванні змінною зоною

$$r_{зр} = \{k, N_{об}, l_{пг}, l_3, q_y\},$$

де k – спосіб моделювання роботи уповільнювача;

w_r – питомий гальмівний опір;

$l_{пг}$ – координата точки початку зони гальмування;

l_3 – довжина зони гальмування;

q_y – ступінь гальмування.

Синхронізація УПРС з іншими моделями комплексу виконується за командами системного таймера. На кожному кроці системного часу УПРС виконує контроль поточного стану ізольованих секцій стрілочних переводів, уповільнювачів та колій.

Для ізольованої ділянки кожного стрілочного переводу з МКР визначається ідентифікатор об'єкта, що її займає $N'_{об}$. При цьому виконується порівняння $N'_{об}$ з ідентифікатором об'єкта, що займав стрілочний перевод на попередньому кроці $N_{об}$. У випадку зміни стану ізольованої ділянки ($N_{об} \neq N'_{об}$) виконуються наступні дії:

- при $N_{об} > 0$ та $N'_{об} = 0$ (звільнення ділянки)

згідно з даними маршрутного накопичувача M визначається напрям скочування наступного відчепу по даному стрілочному переводу і, при необхідності, подається команда в МКР на зміну положення стрілки;

- при $N_{об} > 0$ та $N'_{об} > 0$ фіксується нерозділення відчепів; стрілочний перевод залишається у попередньому стані, а колія призначення відчепу $N'_{об}$ змінюється у відповідності з прийнятим алгоритмом (за замовчуванням направляється на колію попереднього відчепу), режим гальмування відчепу $N'_{об}$ визначається з умови його розділення з попереднім відчепом з мінімальним інтервалом.

Для гальмівних уповільнювачів, ізольовані ділянки яких зайняті рухомим складом, на кожному кроці системного часу в модуль управ-

ліній уповільнювачами подається сигнал. Задане чи розраховане значення w_r передається в МКР. В базовій моделі УПРС прийнято, що перехід уповільнювача зі стану «розгальмований» до стану «загальмований» та назад відбувається миттєво. У випадку нерозділення відчепів на гальмівному уповільнювачі режим гальмування встановлюється за першим відчепом.

Інформація про стан ізольованих ділянок сортувальних колій у базовій моделі не використовується. У більш складних моделях ця інформація може використовуватись для імітації системи контролю зайняття колій.

Розроблена імітаційна модель системи управління пересуванням рухомого складу є універсальною. В запропонованому вигляді модель може використовуватись в тренажерах чергового по гірці та в програмних комплексах для оцінки конструктивних параметрів плану та профілю гірок.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шафит, Е. М. Расчет времени расформирования составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы эксплуатации железных дорог: Тр. ДИИТа. – Вып. 61. – М.: Транспорт, 1966. – С. 31-50.
2. Кирлан, А. И. Цифровая модель горки для исследования алгоритмов управления горочными процессами [Текст] / А. И. Кирлан // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. – Вып. 13. – Свердловск: УО ЦНИИ МПС, 1969. – С. 112-114.
3. Kozak, T. Modelowy system rozradowy PKP i jego powiazanie z systemem kierowania praca stacji [Текст] / T. Kozak // Automat. kolej. – 1980. – 3, № 11-12. – S. 296-299.
4. Seget, M. Model symulacyjny procesu rozrzedzania wagonów na górze rozradowej [Текст] / M. Seget, K. Sztandera // Pr. Inst. transp. PWarsz. – 1988. – 28. – S. 5-12.
5. Муха, Ю. А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, С. А. Попов // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Тр. ДИИТа. – Вып. 181/10. – Д., 1976. – С. 23-40.
6. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская и др. // Вестник ВНИИЖТа. – 1999. – № 3. – С. 32-34.
7. Бобровский, В. И. Эргатические модели сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2001. – № 5. – С. 7-11.
8. Бобровский, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // 36. наук. пр. КУЕТТ: Сер. «Транспортні системи і технології». – Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 80-86.
9. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ [Текст] / Г. Буч [пер. с англ.]. – 2-е изд. – М.: Изд-во Бином; СПб.: Невский диалект, 2000. – 560 с.
10. Козаченко, Д. М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 53-57.
11. Вернигора, Р. В. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій як ергатичних систем [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / ДНУЗТ. – Д., 2008. – 21 с.
12. Рогов, Н. В. Имитационная модель скатывания отцепов с регулируемой зоной торможения [Текст] / Н. В. Рогов, Н. П. Божко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXV Межд. науч.-практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2005. – С. 109-110.

Надійшла до редколегії 07.12.2009.

Прийнята до друку 10.12.2009.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА СТАНЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭВМ

У статті представлена структура інформаційної моделі для техніко-експлуатаційного аналізу залізничних станцій. Модель відображає технологічні процеси станцій у вигляді плану-графіку та може використовуватись як складова частина програм функціонального моделювання залізничних станцій.

В статье представлена структура информационной модели для технико-эксплуатационного анализа железнодорожных станций. Модель отражает технологические процессы станций в виде плана-графика и может использоваться как составная часть программ функционального моделирования железнодорожных станций.

The information model structure for the technical and operational analysis of railway stations is presented in the article. The model reflects the technological process of stations in the schedule form and can be used as a component of functional simulation software for railway stations.

В условиях рыночной экономики и конкуренции с другими видами транспорта одним из основных факторов обеспечения высокой эффективности эксплуатационной работы железных дорог является минимизация времени нахождения вагонов на станциях. С этой целью станции должны обладать достаточным резервом пропускной и перерабатывающей способности для погашения пиковых нагрузок. С другой стороны, нужно минимизировать собственные расходы станций, сокращая избыточный технический потенциал. Для решения указанной сложной и противоречивой задачи техническое оснащение и технология железнодорожных станций должны соответствовать объемам и характеру их работы.

Ввиду значительной сложности технологии железнодорожных станций разработка их технологических процессов происходит итеративно. В этих условиях технологу необходим внешний накопитель информации, адекватно отображающий процессы обработки поездов, вагонов и локомотивов, а также использования технических средств станций. Таким накопителем обычно выступает графическая модель в виде плана-графика работы станции. Процесс взаимодействия технолога с графической моделью технологического процесса является одним из важнейших, облегчающих принятие решения. В целом традиционную методику разработки технологии станции можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1.

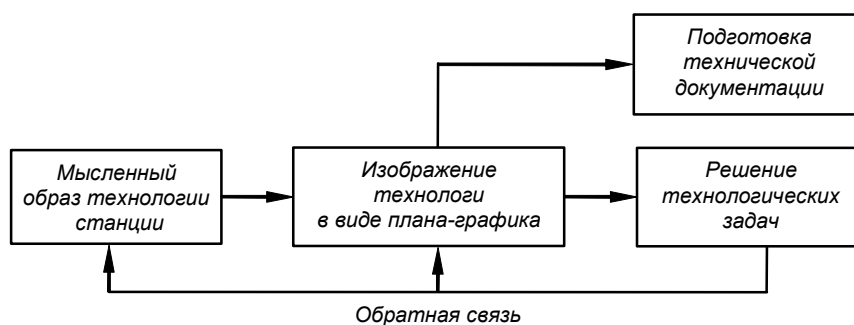


Рис. 1. Схема традиционной методики разработки технологического процесса станции

План-график работы станции удовлетворяет противоречивым в сочетании требованиям, предъявляемым обычно к памяти. Графическая модель имеет большую емкость и обеспечивает высокую скорость поисков и выбора необходимой информации. Благодаря этим преимуществам план-график работы станции используется практически со времени зарождения железнодорожного транспорта и до современного вре-

мени. Основными недостатками традиционной методики разработки планов-графиков является низкая скорость построения графического изображения и получения показателей работы станции, неучет случайного характера продолжительности технологических операций, сложность тиражирования, архивирования и передачи информации. Преодоление указанных проблем связывается с использованием для разра-

ботки планов-графиков ЭВМ. В настоящее время с этой целью обычно используются универсальные графические редакторы, например, AutoCAD, CorelDraw и др. Такой подход позволяет получать планы-графики в виде графических файлов и решает проблемы, связанные с их тиражированием, архивированием и передачей. В то же время методика построения плана-графика по существу сохраняется (см. рис. 1),

что не дает возможности ускорить разработку технологии станций, увеличить число рассматриваемых вариантов и, в результате, повысить качество принимаемых решений.

Эти противоречия могут быть устранены при использовании автоматизированной методики разработки технологического процесса станции, основанной на математической модели (рис. 2).

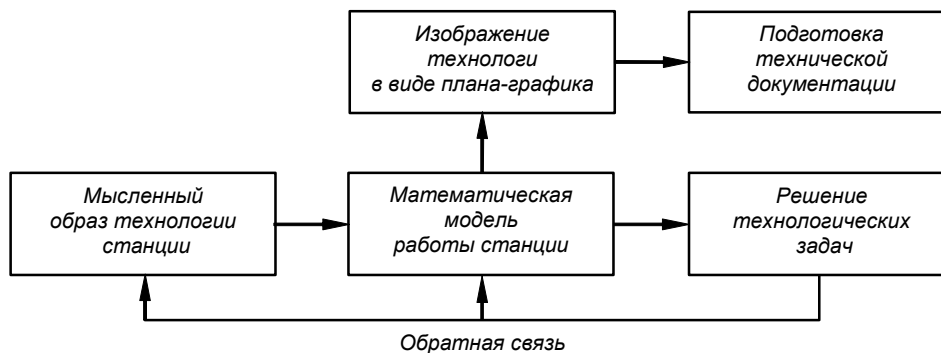


Рис. 2. Схема автоматизированной методики разработки технологического процесса станции.

Математическая модель является более совершенным способом представления процесса функционирования станций и более мощным и удобным инструментом для получения их технико-эксплуатационной оценки. Чертеж плана-графика в этих условиях начинает играть вспомогательную роль, а построение модели выполняется либо автоматически, либо автоматизированно с помощью средств компьютерной графики.

Ввиду значительной сложности станционных процессов железнодорожных станций методы их прямого синтеза в настоящее время не разработаны. Поэтому наиболее приемлемой является схема автоматизированного проектирования, когда принятие технологических решений и их качественная оценка выполняется человеком-технологом, а контроль правильности построения плана-графика, визуализация технологического процесса и расчет показателей работы станции выполняется ЭВМ. При таком подходе для взаимодействия человека и ЭВМ должна быть разработана информационная модель, которая обеспечивает представление внутренней (численной) модели станции в удобной для человека графической форме, а также воспринимает команды от технолога и формирует на их основе команды для внутренней модели.

В зависимости от решаемых задач возможно построение различных информационных моделей. Так, разработаны информационные модели станции в виде трехмерного изображения [1] или в виде мнемосхемы [2]. Однако такие модели более приемлемы для компьютерных тре-

нажеров. Для разработки технологии работы станций более эффективной является информационная модель в виде традиционного плана-графика. Такое представление, в отличие от непосредственного изображения процесса работы станции, позволяет анализировать протекание технологического процесса во времени и взаимодействие различных элементов станции между собой. В ДИИТе разработана универсальная информационная модель, которая может использоваться в различных программных комплексах для разработки и анализа технологических процессов работы железнодорожных станций. Изображение суточного плана-графика представлено на рис. 3.

В состав информационной модели работы станции входит модель сетки суточного плана-графика и графический протокол работы станции.

В качестве модели сетки суточного графика используется ориентированное дерево $G = (V, E)$. Вершинами дерева являются собственно сетка суточного плана-графика v_n , группы строк v_r и отдельные строки плана-графика v_c . Дуги дерева указывают на принадлежность строк и групп строк к элементам более высокого уровня.

Ориентированное дерево, соответствующее изображенной на рис. 3 сетке, приведено на рис. 4. Для представления ориентированного дерева в памяти ЭВМ принята структура данных, называемая списками инцидентности.

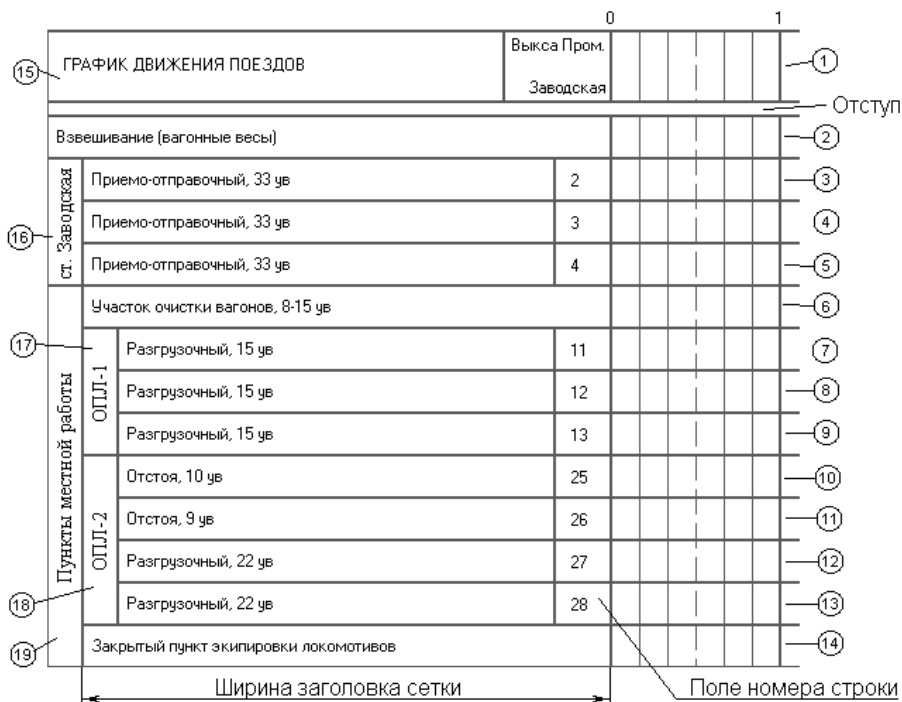


Рис. 3. Фрагмент сетки суточного плана-графика

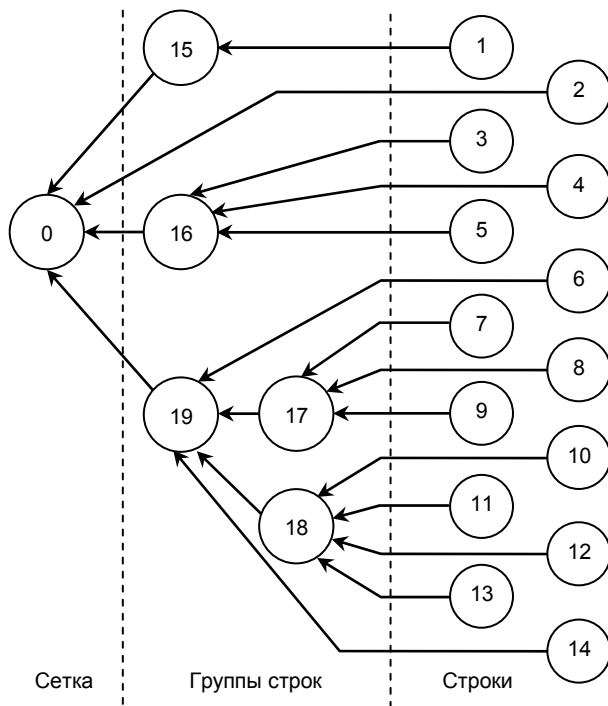


Рис. 4. Модель сетки суточного плана-графика в виде дерева

Списки инцидентности содержат для каждой вершины $v \in V$ список вершин u таких, что $v \rightarrow u$. Дополнительно каждой вершине в соответствие поставлен список параметров, которые определяют отображение соответствующих элементов плана-графика.

Так, сетке графика (вершина v_n) в соответствие поставлен следующий вектор параметров:

$$Y_n = \{ p_n, s_n, w_{пз}, w_{пн} \},$$

где p_n – период моделирования (ширина временной сетки), мин;

s_n – масштаб отображения, мм/мин;

$w_{пз}$ – ширина заголовка сетки, мм;

$w_{пн}$ – ширина полей номеров строк, мм;

Группам строк (вершины v_r) в соответствие поставлен вектор параметров:

$$Y_r = \{ i_r, n_r, t_r, w_r \},$$

где i_r – идентификатор группы;

n_r – название группы;

t_r – направление ориентации текста названия группы (0 – вертикальное, 1 – горизонтальное);

w_r – ширина группы.

Отдельным строкам (вершины v_c) в соответствие поставлен вектор параметров:

$$Y_c = \{ i_c, n_c, t_c, c_c, g_c, y_c, h_c, s_c \},$$

где i_c – идентификатор строки;

n_c – название строки;

t_c – направление выравнивания текста названия строки;

c_c – цвет строки;

g_c – номер строки;

y_c – ордината верхней границы строки, мм;

h_c – высота строки, мм;

s_c – высота отступа после строки (см. рис. 3), мм.

Во входной модели ординаты строк плана-графика не указываются, а строки отсортированы по возрастанию их ординаты. Во внутрен-

ней модели выполняется расчет ординат на основании параметров h_c и s_c .

Для автоматизированного построения сетки суточного плана-графика разработан графический редактор «Построитель сетки плана-графика» (рис. 5).

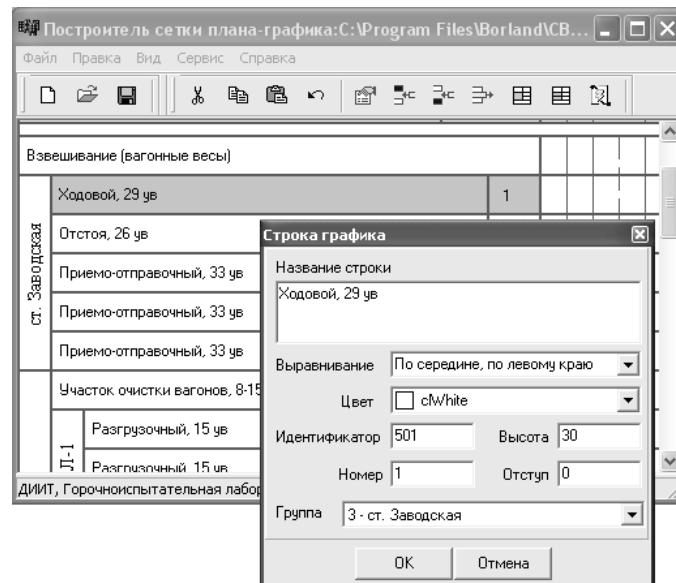


Рис. 5. Построитель сетки суточного плана-графика

Протокол работы станции отображается в виде множества значков $s \in S$, которые указывают на выполнение определенной технологической операции некоторым исполнителем.

В памяти ЭВМ значки s описываются структурами данных

$$s = \{ i_c, n_3, o_3, x_n, x_k, c_3, Y_3 \}, \quad (1)$$

где i_c – идентификатор строки, на которой изображается значок;

n_3 – тип значка;

o_3 – идентификатор объекта, обслуживание которого изображает значок;

x_n, x_k – абсциссы начала и конца значка;

c_3 – цвет значка;

Y_3 – вектор дополнительных параметров, необходимых для изображения значков определенных типов (номер поезда, число обслуживаемых вагонов, высота значка и др.).

Добавление значков в информационную модель может осуществляться как в автоматическом режиме, так и в автоматизированном, с участием человека. При этом основными командами являются «добавить значок», «добавить начало значка» и «добавить конец значка».

Команда «добавить значок» используется в основном при построении плана-графика человеком, при этом для значка заполняется вся структура (1), а задание отдельных параметров осуществляется либо с помощью манипулятора

«мышь», либо с помощью клавиатуры. При построении плана-графика на основании моделирования работы станции [3] в основном используются команды «добавить начало значка» и «добавить конец значка», которые подаются в информационную модель по мере начала и окончания технологических операций с объектами. При поступлении команды на начало рисования значка во множество S добавляется новый значок, при этом параметр x_k этого значка принимает нулевое значение. Значки, для которых $x_k = 0$, не отображаются. При поступлении команды на окончание рисования значка во множество S осуществляется поиск соответствующего начала значка по номеру строки i_c и идентификатору объекта o_3 и для этого значка устанавливается значение x_k .

С использованием представленной информационной модели разработаны программы «Построитель плана-графика» и «План-график работы станции». Первая из них позволяет формировать план-график из отдельных значков и автоматически рассчитывать его параметры (см. рис. 6). Эту программу целесообразно использовать на начальном этапе разработки технологии. Вторая программа позволяет выполнять имитационное моделирование работы станций и используется для получения технико-эксплуатационной оценки их работы в различных условиях (см. рис. 7).

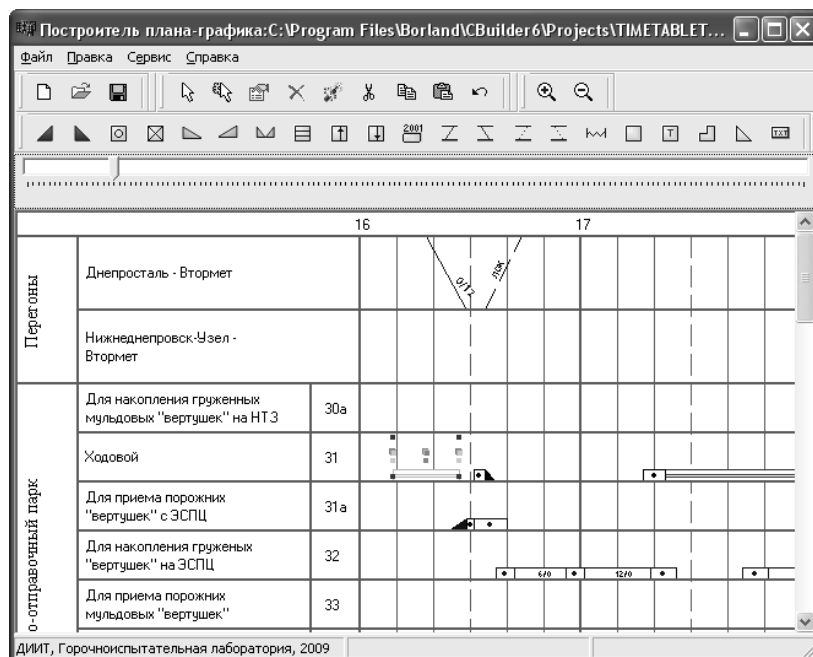


Рис. 6. Построитель суточного плана-графика

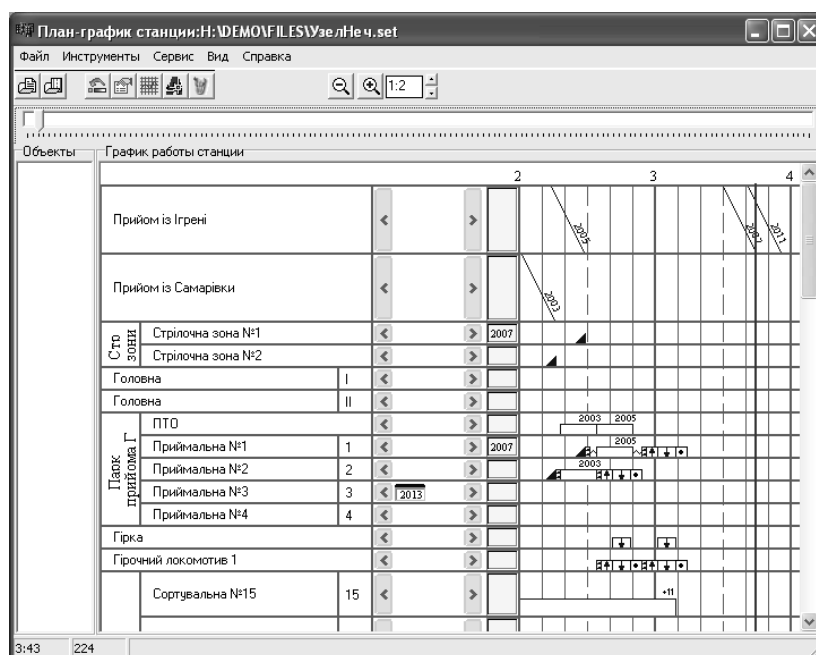


Рис. 7. Имитационная модель работы станции

Разработанная информационная модель позволяет отражать производственные процессы станций в понятном для технологов виде, выполнена в отдельном модуле и может использоваться в различных программных комплексах моделирования работы железнодорожных станций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lin, E. Yardsim: a Rail Yard Simulation Framework and its Implementation in a Major Railroad in the U.S. [Электрон. ресурс] / E. Lin., C. Cheng. – Режим доступа: www.informs-sim.org/wsc09papers/244.pdf

2. Бобровский, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // 36. наук. пр. КУЕТТ: Сер. «Транспортні системи і технології». – 2004. – Вип. 5. – С. 80-86.
3. Козаченко, Д. М. Програмный комплекс для имитационного моделирования работы железнодорожных станций на основе годового плана-графика [Текст] / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробьова // Жалізн. трансп. України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18-20.

Поступила в редколлегию 19.01.2010.
Принята к печати 21.01.2010.

КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВАГОНОРЕМОНТНЫХ ДЕПО С АСИНХРОННЫМИ ГИБКИМИ ПОТОКАМИ РЕМОНТА ВАГОНОВ

Відмічено недоліки традиційних жорстких поточкових ліній для ремонту вагонів. Показано переваги гнучкого асинхронного вагоноремонтного потоку. Представлено різні компоновочні рішення організаційно-технологічних структур, які дозволяють здійснювати реалізацію таких потоків. Уточнено деякі фахові терміни вагоноремонтного виробництва.

Отмечены недостатки традиционных жёстких поточных линий для ремонта вагонов. Показаны преимущества гибкого асинхронного вагоноремонтного потока. Представлены различные компоновочные решения организационно-технологических структур, позволяющих осуществлять реализацию таких потоков. Уточнены некоторые специальные термины вагоноремонтного производства.

The disadvantages of traditional fixed production lines for repair of wagons are pointed out. The advantages of flexible asynchronous wagon-repair stream are shown. Various configuration decisions of the organization-and-technological structures allowing the realization of these streams are presented. Some special terms of wagon-repair production are refined.

В настоящее время существуют две принципиально различные формы организации вагоноремонтного производства. Это стационарный метод ремонта и поточный метод ремонта. При стационарном методе ремонта весь технологический процесс осуществляется на одном рабочем месте. При поточном методе ремонта общий технологический процесс разбивается на отдельные группы операций, каждая из которых выполняется на специализированной позиции, расположенной по ходу технологического процесса. При этом вагоны постоянно перемещаются между позициями.

При стационарном методе ремонта нельзя достичь высокой производительности труда, т.к. нет возможности оснастить каждую позицию всем необходимым технологическим оборудованием. Поэтому уровень механизации производственных процессов при этом методе ремонта вагонов невысокий. Отсюда и низкая производительность труда при этом методе.

При поточном же методе ремонта производительность труда значительно выше, а также существенно лучше качество ремонта.

В 40–60-х годах прошлого века работами целого ряда учёных были заложены теоретические основы поточного вагоноремонтного производства [1 – 6]. Основной акцент был сделан на «жёстких» поточных линиях, которые предусматривают одновременное перемещение всех вагонов между позициями. Для ритмичной

работы таких поточных линий необходимо было постоянно добиваться того, чтобы окончание ремонтных операций на всех позициях осуществлялось бы одновременно. И поэтому все дальнейшие усилия были в основном направлены на обеспечение синхронизации времени выполнения ремонтных операций на позициях.

В 70–80-х годах эта традиция была продолжена [7 – 11].

Таким образом, все вагонные депо в Советском Союзе строились исходя из соображений использования «жёсткого» потока.

Несмотря на то, что принятые в своё время поточные линии для ремонта вагонов с жёсткой структурой явились, несомненно, более прогрессивным шагом по сравнению со стационарными методами, их возможности весьма ограничены – вероятностная природа ремонтного производства сдерживает дальнейший рост производительности труда при использовании этих линий. Большое количество случайных факторов, влияющих на ритмичную работу поточных линий, сводит на нет все преимущества этого метода организации производственного процесса, принятого в жёстком исполнении.

Ещё раз отметим, что специфика ремонтного производства связана в первую очередь с большой неопределённостью технологического процесса. Как показали исследования, трудоём-

кости депоовского ремонта грузовых вагонов даже одного типа (однопредметный поток) сильно отличаются друг от друга. Одно дело, когда вагон поступает в ремонт первый раз после постройки, и совсем другое дело, когда вагон поступает в ремонт последний раз перед списанием. Так, например, для полувагонов наибольшего диапазона достигают трудоёмкости сварочных и кузовных работ, а также работы, связанные с правкой крышек люков. При многопредметном потоке трудоёмкости ремонта вагонов ещё больше отличаются друг от друга.

В настоящее же время, в силу уже отмеченных причин, ни одно депо строго по потоку не работает. В основном используется стационарный метод ремонта и только кое-где ещё сохранились отдельные элементы поточного метода ремонта вагонов. Для дальнейшего совершенствования ремонтного производства эти линии являются бесперспективными.

Если для вагоноремонтных заводов и предлагались разные компоновочные решения организации поточного производства, то для вагонных депо был предусмотрен один вариант – жёсткий. С ориентацией на этот вид поточных линий и строились корпуса всех вагоноборочных участков. Практика показала ошибочность этого решения.

Применение традиционных поточных линий хотя и даёт возможность специализировать ремонтные позиции на выполнении определённых видов операций, но, из-за широкого разброса трудоёмкостей ремонтных работ, не позволяет полностью использовать все преимущества поточного метода ремонта вагонов. Постоянно происходят нарушения регламентированного такта поточной линии. Эти особенности, присущие ремонтному производству, должны быть учтены при разработке новых вагоноремонтных предприятий.

Принятая в своё время ориентация на «жёсткий» поток, связанный с обязательной синхронизацией времени выполнения ремонтных работ на позициях, не оправдала надежды. «Жёсткий» поток для ремонтного производства – это тактическая ошибка. Хотя в стратегическом плане ориентация на поточные формы производства это, безусловно, правильное решение – альтернативы поточному методу производства на сегодняшний день нет. Для успешной же реализации вагоноремонтного поточного производства необходимы несколько иные организационно-технологические компоновочные решения.

Нормы технологического проектирования депо [12] и типовые проектные решения вагоноборочных участков в депо [13] также повторяют день вчерашний и не вносят ничего нового в совершенствование организации ремонта вагонов на потоке.

Должна быть принята такая система поточной организации производства, при которой технологический процесс ремонта каждого отдельного вагона мог бы легко встраиваться в общий технологический процесс ремонтного потока. На сегодняшний день такая организация производства возможна только за счёт использования ремонтных потоков с гибкой системой транспортировки вагонов между позициями.

С конца 90-х годов и до настоящего времени появилось большое количество теоретических работ, в которых уже делается акцент на использовании в вагоноремонтном производстве гибких поточных линий [14 – 20]. В этом списке особо следует выделить фундаментальную работу [20], в которой неоднократно подчёркивается идея о необходимости создания гибких поточных линий при новом строительстве вагонных депо. Указанные работы представляют российское направление в подходе к использованию гибкого ремонта вагонов на потоке.

Среди теоретических работ автора, касающихся гибкого вагоноремонтного производства, можно выделить следующие работы [21 – 28].

Кроме того, гибкие поточные линии уже нашли своё практическое применение и при проектировании новых вагоноремонтных предприятий. Так, например, проектно-изыскательским институтом «Днепрожелдорпроект» (г. Днепропетровск) при непосредственном участии автора гибкие поточные линии для ремонта вагонов впервые были использованы при разработке ТЭО строительства завода по ремонту рефрижераторного подвижного состава на ст. Комрат Молдавской ж.д., а также в основных технологических решениях строительства вагонного депо по ремонту апатитовозов и вагонов для перевозки минеральных удобрений на ст. Апатиты-1 Октябрьской ж.д.

Применение гибких поточных линий ремонта вагонов является одним из наиболее важных путей повышения эффективности вагоноремонтного производства

Таким образом, следующим этапом на пути эволюции ремонтных систем могут выступить асинхронные гибкие потоки ремонта вагонов (АГПРВ), позволяющие осуществить дальней-

ший качественный скачок в области поточного вагоноремонтного производства. Эти потоки лишены недостатков, присущих жёстким и полужёстким поточным линиям. Они обладают хорошей манёвренностью, легко адаптируются к ремонту разных типов вагонов и к разным трудоёмкостям ремонта, имеют высокие технико-экономические показатели. Но такие линии требуют оригинальных организационно-технологических решений и соответствующих архитектурно-строительных планировок производственных зданий.

Рассмотрим ряд вариантов организации перспективных вагоноремонтных предприятий, использующих гибкие поточные методы ремонта.

Вначале обратим внимание на то, что для правильного отражения сути технологических процессов, осуществляемых на поточных линиях, необходима более чёткая терминология для обозначения наименований участков, в которых функционируют поточные линии. В существующей литературе для обозначения производственного участка вагонного депо, в котором осуществляется одновременно разборка, ремонт и сборка вагонов, почему-то принято использовать термин «вагоносборочный» (ВСУ). Следует отметить, что данный термин однобоко отражает суть технологических процессов, осуществляемых на этом участке. Он акцентирует внимание только на одном из видов работ, а именно – сборке. Этот термин заимствован из машиностроения (вагоностроения), где производится изготовление новых изделий путём сборки основного изделия в единое целое из отдельных узлов и деталей. На самом же деле этот участок состоит из целого ряда специализированных позиций, на которых выполняются различные технологические операции, в том числе: диагностические, разборочные, правильные, сварочные, сборочные, испытательные, контрольные. Поэтому, по нашему мнению, к названию данного участка больше подходит термин «ремонтный». Учитывая также и то, что на долю этого участка приходится вся основная нагрузка, он может быть наименован «главным ремонтным участком». Кроме того, вместо термина «поточная линия» будем пользоваться термином «поток». Первый термин относится к жёстким и полужёстким линиям, действительно имеющим «линейную» конфигурацию, а для гибких вагоноремонтных структур, имеющих сложную конфигурацию, он совсем не подходит. Этими терминами мы и бу-

дем в дальнейшем пользоваться в данной работе.

Основной акцент должен быть сделан на создании крупных вагоноремонтных предприятий, которые смогли бы ремонтировать несколько типов вагонов и выполнять разные виды ремонтов и обслуживания. Это будет способствовать и стабильной работе предприятия, т.к. несколько типов ремонтируемых вагонов и несколько видов ремонтов позволят всегда осуществлять необходимый отбор из числа возможных объектов ремонта для более полной загрузки производственных мощностей.

Имеющиеся на сегодняшний день здания вагонных депо, в которых размещены вагоносборочные участки, не отвечают требованиям НТП ни по конфигурации, ни по применяемому транспортному оборудованию, т.е. не позволяют использовать гибкие технологии ремонта в полном объёме.

Поэтому при проектировании и строительстве вагоноремонтных предприятий нового поколения должны быть извлечены уроки прошлого и сделаны соответствующие выводы. Сейчас мы выходим на новую фазу в совершенствовании организации вагоноремонтного производства – создание гибких поточных систем. Современный уровень развития техники позволяет их успешно реализовать.

Кроме того, строительство новых вагоноремонтных предприятий является одним из главных путей обновления основных фондов вагонного хозяйства.

Асинхронный гибкий поток является наиболее эффективной формой организации вагоноремонтного производства и поэтому было бы целесообразно, чтобы он охватывал все стадии производственного процесса от начала и до конца. Однако комплексная его реализация является делом непростым и предполагает длительную предварительную подготовку, как в организационном, так и в техническом и технологическом планах. Поэтому на первых этапах перехода к гибкому производству могут быть успешно реализованы комбинированные варианты организации производства, сочетающие в себе одновременно как гибкие, так и полужёсткие поточные системы.

Исходя из количества объектов, закреплённых за потоком, можно выделить однопредметные и многопредметные потоки. Если на потоке ремонтируется только один тип вагонов, то такой поток будет являться однопредметным. Как правило, «жёсткие» и «полужёсткие» потоки являются однопредметными. Если на потоке

ремонтируются вагоны двух и более типов, то такой поток будет являться многопредметным. К такому потоку относится и гибкий асинхронный поток.

При анализе общего вагоноремонтного производства можно выделить следующие функциональные участки (подразделения): участок подготовки вагонов к ремонту, главный ремонтный участок, участок окраски вагонов. Исходя из того, что наибольший разброс трудоёмкостей выполняемых работ приходится на участок ремонта, он в первую очередь должен быть переведён на гибкий поток.

Вместе с тем, на других участках могут быть вполне использованы «полужёсткие» поточные линии. Это касается участка подготовки вагонов к ремонту и участка окраски. Во-первых, значения трудоёмкостей работ, выполняемых на этих участках, находятся в более узком диапазоне и, во-вторых, эти участки имеют непосредственную связь с внешней средой: первый – на входе, а второй – на выходе. Последнее обстоятельство предоставляет им возможность обладать некоторой относительной маневренностью.

Таким образом, генеральный вагоноремонтный поток (ГВРП) включает в себя следующие участки:

- участок подготовки вагонов к ремонту;
- главный участок ремонта вагонов (главный ремонтный участок);
- участок окраски вагонов.

Введём некоторые условные обозначения. Участки будем обозначать буквами латинского алфавита: *A*, *B*, *C*. Каждый участок включает в себя несколько позиций, на которых выполняются конкретные виды работ. Позиции будем нумеровать римскими цифрами: I, II, III и т.д. Каждая позиция состоит из нескольких ремонтных модулей. Под модулем понимается ремонтное место, предназначенное для размещения одного вагона, которое оснащено необходимым технологическим оборудованием. Все модули одной позиции идентичны между собой. Ремонтные модули на позициях будем обозначать арабскими цифрами 1, 2, 3, ..., *n*. Таким образом, например, обозначение 1(II)*B* будет соответствовать первому модулю второй позиции участка *B*.

На участках *A* и *C* целесообразно использовать полужёсткий асинхронный поток, а на участке *B* – гибкий асинхронный поток.

На рис. 1 представлена общая структурная схема генерального вагоноремонтного потока.

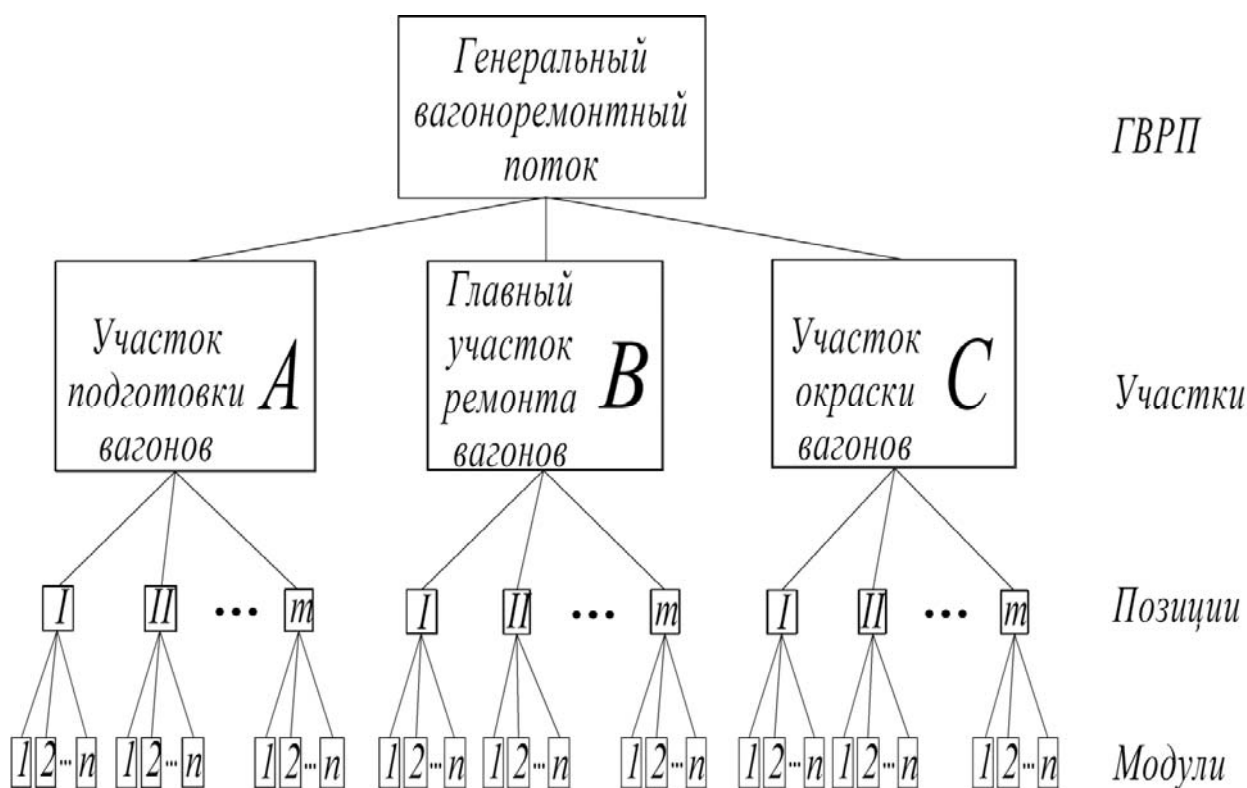


Рис. 1. Структурная схема генерального вагоноремонтного потока

Возможны различные варианты организации генерального вагоноремонтного потока. На

рис. 2 – 4 схематично показаны основные компоновочные решения.

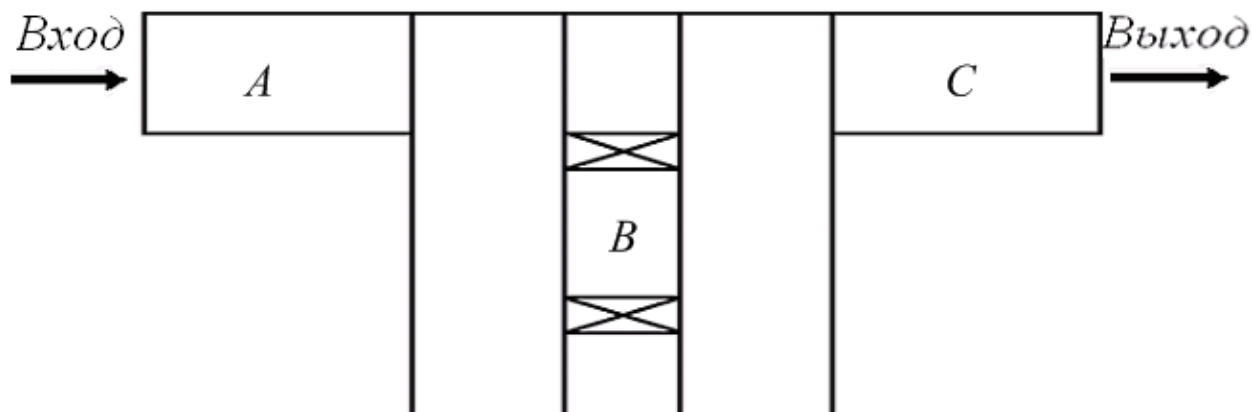


Рис. 2. Прямоточный поток

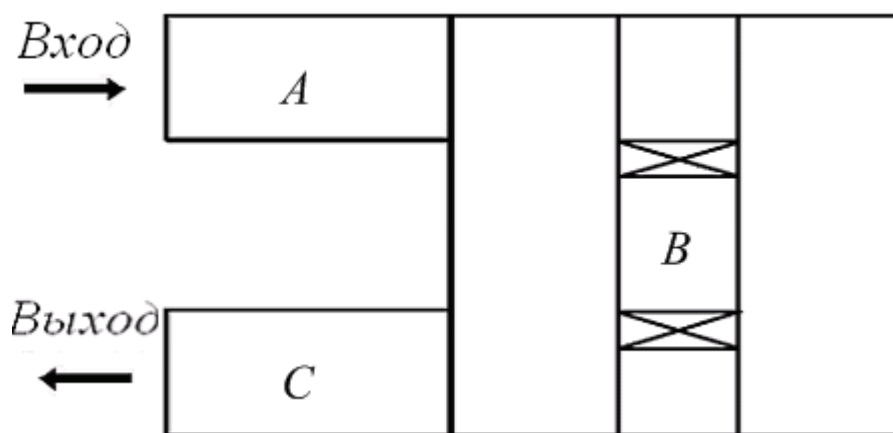


Рис. 3. П-образный поток

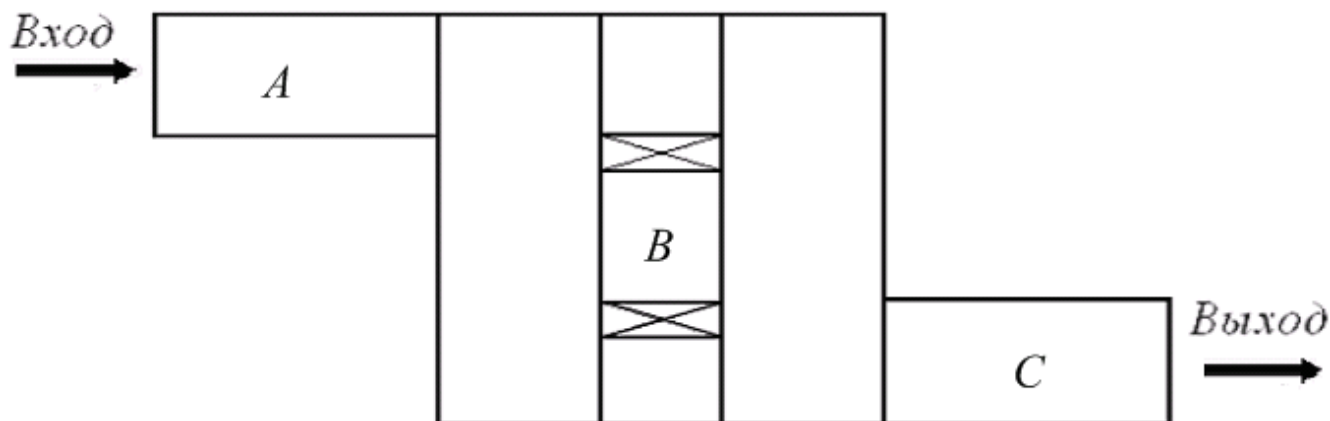


Рис. 4. Z-образный поток

В основу организации ремонтных работ на участке *В* положен асинхронный гибкий поток. Остановимся более подробно на компоновке участка *В*. Этот участок включает в себя ремонтные пролёты и транспортные пролёты. В формуле структуры участка ремонтный пролёт будем обозначать буквой «*P*», а транспортный пролёт – буквой «*T*».

Следует отметить, что ширина транспортного пролёта (коридора), в зависимости от возможностей трансбордерной тележки, может быть 18 или 24 м. В случае, если трансбордерная тележка сама имеет возможность производить загрузку-выгрузку вагона, то может быть использован транспортный пролёт шириной 18 м. В случае, если трансбордерная тележка

осуществляет только поперечные перемещения вагонов, а для продольного перемещения дополнительно нужен транспортный электротягач на автомобильном ходу, то должен быть использован пролёт шириной 24 м. Для ремонтных позиций должен быть использован пролёт шириной 24 м.

Известно, что чем больше количество позиций на потоке, то тем больше и количество перемещений вагонов. Для асинхронного гибкого потока это имеет очень важное значение, т.к. может повлечь за собой большой объём транспортных операций, связанных с перемещением вагонов между позициями. Поэтому число позиций на потоке должно быть, по возможности, минимальным.

Учитывая опыт вагонных депо, применяющих поточные методы ремонта вагонов, можно сделать вывод о том, что на участке *B* использовать более трёх-четырёх специализированных позиций для ремонта одного типа вагона нецелесообразно.

Количество трансбордерных тележек в каждом транспортном пролёте должно быть не менее двух.

На рис. 5 – 8 представлены возможные структурные схемы организации асинхронного гибкого потока на участке *B*. Для наглядности, в качестве примера, выбрана форма участка с односторонней подачей и выдачей вагонов (П-образный вариант ГВРП).

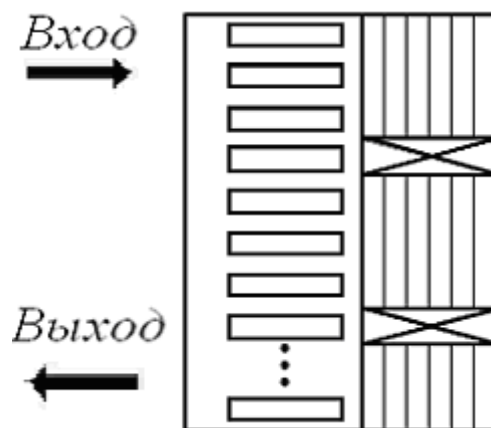


Рис. 5. Вариант расположения ремонтного пролёта с одной стороны от транспортного пролёта. Формула структуры участка – $P/T(T/P)$. Однако при этом варианте нерационально используются возможности трансбордерной тележки

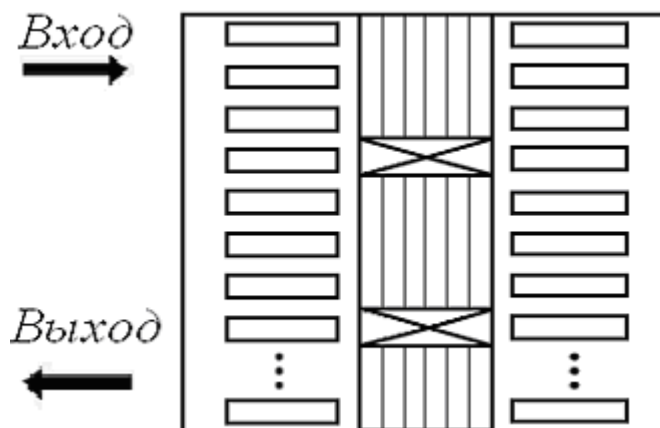


Рис. 6. Вариант расположения ремонтных пролётов по обе стороны от транспортного пролёта. Формула структуры участка приобретает вид – $P/T/P$. В этом случае возможности трансбордерной тележки могут быть использованы более эффективно

Кроме того, необходимо обращать внимание на «узлы» сопряжения участков. При правильно выбранном количестве модулей в этих зонах можно значительно сократить число перемещений трансбордерной тележки. Поэтому количество модулей на I позиции участка *B* должно

совпадать с количеством поточных линий на участке *A*, а количество модулей на последней позиции участка *B* должно совпадать с количеством поточных линий на участке *C*. Таким образом, перемещения вагонов на первые позиции участков *B* и *C* будут осуществляться без

помощи трансбордерной тележки, что позволит избежать лишних транспортных потерь.

В данной работе представлены только некоторые варианты возможных планировочных ре-

шений перспективных вагоноремонтных предприятий.

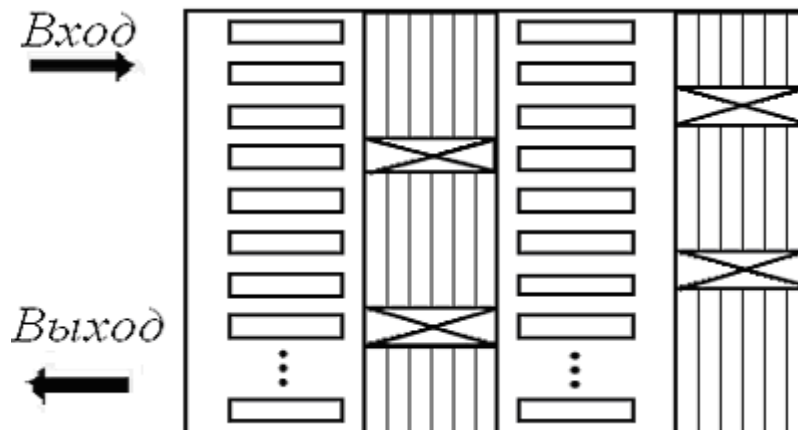


Рис. 7. Вариант поочерёдного расположения ремонтных и транспортных пролётов. Формула структуры участка – $P/T/P/T$. Этот вариант может иметь место при большой программе ремонта. С целью уменьшения нагрузки основного транспортного пролёта используется дополнительный транспортный пролёт

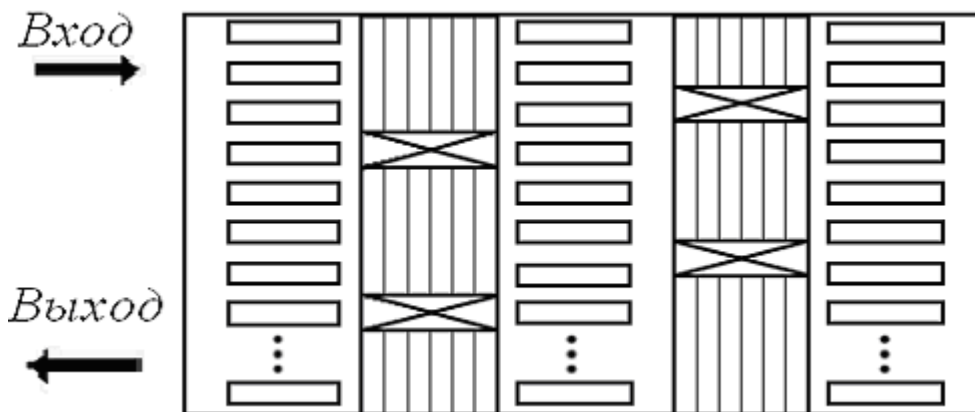


Рис. 8. Вариант симметричного расположения пролётов. Формула структуры участка – $P/T/P/T/P$. В этом варианте каждый транспортный пролёт имеет возможность, кроме своего ремонтного пролёта (крайнего), обслуживать ещё и средний пролёт

В целом же внедрение гибких потоков в вагоноремонтное производство является новым направлением и поэтому требует более глубоких проработок ещё на предпроектных стадиях. Большое внимание здесь должно быть уделено разработке моделей и использованию имитационного моделирования для анализа функционирования будущего производства с целью оптимизации его структуры и основных технико-экономических параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Бродовский, А. Л. Организация вагонного хозяйства и содержание вагонов [Текст] / А. Л. Бродовский. – М.: Гострансжелдориздат, 1947. – 384 с.
2. Скиба, И. Ф. Поточный метод ремонта вагонов на заводах [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Гострансжелдориздат, 1950. – 247 с.
3. Криворучко, Н. З. Организация вагонного хозяйства [Текст] / Н. З. Криворучко. – М.: Гострансжелдориздат, 1954. – 542 с.
4. Лапшин, Ф. А. Вагонное хозяйство [Текст] / Ф. А. Лапшин, С. Г. Комаров. – М.: Гострансжелдориздат, 1955. – 191 с.
5. Скиба, И. Ф. Экономическая эффективность новой техники, организации и технологии ремонта вагонов [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Транспорт, 1964. – 243 с.
6. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко, А. Е. Цикунов, В. И. Гридюшко. – М.: Транспорт, 1969. – 312 с.
7. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко, В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1976. – 280 с.

8. Ножевников, А. М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов [Текст] / А. М. Ножевников. – М.: Транспорт, 1980. – 137 с.
9. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве [Текст] / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
10. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов (системный подход) [Текст] / В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.
11. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, В. И. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.
12. Депо для ремонта полувагонов на программу 6000 и 10000 физ. единиц в год. Вагонсборочный участок [Текст] / Мосгипротранс. – М., 1988. – ТПР 301-3-040.22.88. – Инв. № 1320/1. – 44 с.
13. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов [Текст]. – М.: Транспорт, 1987. – 33 с.
14. Болотин, М. М. Новая технология ремонта вагонов [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Ж/д трансп. – 1991. – № 9. – С. 29-33.
15. Автоматизированные системы обработки информации и гибкие технологии на ремонтных предприятиях [Текст] / М. М. Болотин и др. // Автоматизация и современные технологии. – 1992. – № 8. – С. 21-23.
16. Образование параметров и оснащение гибких поточных линий по ремонту вагонов [Текст] / В. Г. Воротников и др. // Автоматизация и современные технологии. – 1993. – № 3. – С. 3-5.
17. Котуранов, В. Н. Пути усиления вагоноремонтной базы [Текст] / В. Н. Котуранов, М. М. Болотин, С. Н. Муравьев // Ж/д трансп. – 1994. – № 11. – С. 54-56.
18. Воротников, В. Г. Основные принципы моделирования процессов функционирования гибких производственных систем вагонных депо [Текст] / В. Г. Воротников, А. А. Денисенко // Безопасность движения поездов: Материалы восьмой науч.-практ. конф. (Москва, 01.11–02.11.2007). – М., 2007. – С. VI-3.
19. Воротников, В. Г. Перспективные направления повышения производственного потенциала вагонных депо [Текст] / В. Г. Воротников // Безопасность движения поездов: Материалы восьмой науч.-практ. конф. (Москва, 01.11–02.11.2007). – М., 2007. – С. VI-3–VI-4.
20. Вагонное хозяйство [Текст] / П. А. Устич и др.; под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
21. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Ж/д трансп.: Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов. – Вып. 1. – М.: ОИ/ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – С. 1-11.
22. 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.
23. Мямлин, В. В. Повышение эффективности поточного метода ремонта вагонов путём использования специальных архитектурно-технологических решений, обеспечивающих гибкую связь между позициями [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск, 09.10–10.10.2008). – Брянск, 2008. – С. 76-78.
24. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 44-48.
25. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 25. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-22.
26. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 28-33.
27. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 36-41.
28. Myamlin, V. V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system [Текст] / V. V. Myamlin // TRANSBALICA 2009: Proc. of the 6-th int'l sci. conf. (Vilnius, April 22–23, 2009). – Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. – P. 173-178.

Поступила в редколлегию 12.01.2010.

Принята к печати 20.01.2010.

В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, Днепропетровск)

ИЕРАРХИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Запропоновано методику ієрархічної побудови руху магнітолевітуючого поїзда. Обґрунтовані її переваги й доцільність трирівневого регулятора системи. Побудовано глобальний алгоритм його функціонування.

Предложена методика иерархического построения движения магнитолевитирующего поезда. Обоснованы её преимущества и целесообразность трёхуровневого регулятора системы. Построен глобальный алгоритм его функционирования.

The technique of hierarchic construction of magnetic levitated train motion is offered. Its advantages and expediency of three-leveled system regulator were grounded. The global algorithm of its work is constructed.

Транспортная система с магнитолевитирующими поездами (ТС МЛП) создана для перемещения пассажиров и грузов. Такое перемещение – её (ТС МЛП) основная функция. Являясь сложным артефактом, эта система включает различные подсистемы. Их функционирование базируется на всевозможных физических, химических, а также иного рода естественных принципах и эффектах. Однако, исходя из отмеченной основной функции ТС МЛП, качество механического движения МЛП в итоге однозначно определяет потребительскую ценность системы в целом.

Современный этап развития социума характеризуется экспоненциальным нарастанием его (развития) интенсивности. Непосредственное отношение это имеет, в частности, к обслуживающим ТС. В связи с этим, исключительно когнитивный уровень исследований их функционирования является недостаточным. Поэтому парадигма таких исследований неизбежно должна быть сдвинута для достижения их максимальной креативности. В случае ТС МЛП это означает, в частности, необходимость построения, в качестве конечной цели изучения таких систем, требуемого качества движений МЛП.

Естественные (т.е. происходящие под воздействием только неуправляемых – естественных – возмущений) движения МЛП, могут быть описаны моделью [1]:

$$\begin{aligned} a_{\lambda\mu} \cdot \eta^\mu &= E_\lambda; \\ a_{\lambda\mu} &= c_{\lambda\mu} \cdot p^{(2)} + (C_{\lambda,\mu\nu} \cdot \eta^\nu + \beta_{\lambda\mu}) \cdot p + l_{\lambda\mu}; \\ p &= \frac{d}{dt} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}], \end{aligned} \quad (1)$$

где $\eta^\mu \forall \mu \in [\overline{1, L}]$, L – обобщённые координаты расчётной схемы МЛП, а также число таких координат; $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ – ковариантный метрический тензор упомянутого агрегата, а также его трёхиндексный символ Кристоффеля 1-го рода; $\beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \forall \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]$ – диссипативные и квазиупругие коэффициенты приведённой модели; $E_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$ – внешние возмущения системы.

Естественные движения, как правило, не обладают требуемыми свойствами. Для придания им (движениям) таких свойств моделирующие уравнения должны быть изменены так, чтобы они стали совместны с описывающими эти свойства целевыми соотношениями, связывающими компоненты состояния системы [2]. Например, к МЛП могут быть приложены управляющие воздействия $\Pi_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$. Если упомянутая совместность достигается, то описываемая целевыми соотношениями поверхность становится аттрактором изображающей точки системы, а её движение гарантированно обладает желаемыми свойствами. Процесс перехода от естественного к управляемому движению будем называть его построением.

Обычно механическая система, которая может быть принята в качестве адекватной расчётной схемы механической подсистемы МЛП, является большой, существенно нелинейной и сложной [3]. Помимо того, за редким исключением такая система является многосвязной, а её движение происходит в непредсказуемой внешней и внутренней обстановке. В подобных случаях, как известно [4], основными трудно-

стями, осложняющими построение движений реальных технических систем, являются: обилие их (подлежащих управлению) степеней свободы, конечная жесткость звеньев кинематических цепей, а также требование (в подавляющем большинстве случаев) слитной, непрерывной, взаимоувязанной реализации фаз таких движений в виде их целесообразных синергий.

Использование одноуровневых регуляторов для построения движений описанного типа систем обычно ведёт к неудовлетворительному качеству таких движений [5]. Возникающая коллизия может быть устранена при их иерархическом построении, значительно повышающем эффективность связанной с ним переработки и использования больших массивов информации [6], а поэтому – и результирующее качество управляемого движения. Достигается это, в том числе, за счёт систематизации, структуризации, уровневой градации, детализации и конкретизации, а поэтому – полноты охвата и использования упомянутой информации о состоянии системы на различных уровнях управления им. Для каждого из таких уровней становится характерной структурная и функциональная информационная селективность и дифференциация, а поэтому – способность к высококачественной реализации избранного для него круга функций. Эмерджентность такой системы проявляется иерархической синтетичностью функционирования уровней построения движения в его результирующем качестве.

Результаты анализа задачи построения движения МЛП свидетельствуют о том, что основными факторами, влияющими на его (движения) качество, являются: свойства системы, определяющие её достаточность (кинематическую и динамическую) для выполнения такого движения; текущая внутренняя и внешняя обстановка, в которой оно реализуется; особенности регулятора системы, в первую очередь – его алгоритма функционирования.

Исходя из отмеченного, достаточна трёхуровневая структура упомянутого регулятора: на его низовом уровне – интроконтроллер, реализующий требуемый набор паттерн движений МЛП, а также их устойчивых синергий; на промежуточном уровне – адаптер, приспособляющий движения к обстановке; на верхнем уровне – координатор, исчерпывающе решающий, в синтетическом взаимодействии с блоками предыдущих уровней, двигательную задачу поезда. Функциональная глобальность этих блоков возрастает в инверсном порядке: коор-

динатор является ведущим, синтезирующим уровнем регулятора; адаптер – промежуточным, согласующим; интроконтроллер – фоновым, провайдерным.

Основной задачей интроконтроллера является «внутрисистемное» управление создаваемым движением, предусматривающее исходную инициацию его требуемых первичных компонентов, а также их «внутреннюю» увязку. Это, в свою очередь, требует согласованного функционирования исполнительных органов, налаживания их нужных синергий и т.д. Необходимые сведения должны оперативно получаться от датчиков «внутреннего очувствления» системы и составляют первую из информационных макрогрупп регулятора. Упомянутое же «внутрисистемное» управление движением может строиться, например, исходя из следующих соображений.

Если программные соотношения аттрактора изображающей точки системы полны, то из них, в явном виде, может быть получен закон:

$$\dot{\eta}^{\lambda} = \eta^{\lambda}(t) \quad \forall \lambda \in \overline{[1, L]}, \quad (2)$$

где t – текущее время, являющийся конструктивным представлением движения, обладающего желаемыми свойствами. Для реализации такого движения, как отмечалось, к МЛП, в частности, могут быть приложены управляющие воздействия $\Pi_{\lambda} \quad \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$. Поскольку в данном случае речь идет о «внутрисистемном» управлении полезным движением МЛП, синтезируемом на нижнем уровне иерархии регулятора, то (для этого случая) в уравнениях (1) следует принять $E_{\lambda} = 0 \quad \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$ и, помимо того, дополнить их правые части членами $\Pi_{\lambda} \quad \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$, являющимися базовыми компонентами величин $\Pi_{\lambda} \quad \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$, реализуемыми в «чистом» виде лишь для синтеза исходных паттерн движений. После этого, из преобразованной указанным способом модели (1), могут быть найдены законы, согласно которым должны изменяться управления этого нижнего уровня:

$$\begin{aligned} \Pi_{\lambda}(t) = & c_{\lambda\mu}(t) \cdot \ddot{\eta}^{\mu}(t) + \\ & + [C_{\lambda,\mu\nu}(t) \cdot \dot{\eta}^{\nu}(t) + \beta_{\lambda\mu}(t)] \cdot \dot{\eta}^{\mu}(t) + \\ & + l_{\lambda\mu}(t) \cdot \eta^{\mu}(t) \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in \overline{[1, L]}, \end{aligned} \quad (3)$$

чтобы «внутрисистемное» (т.е. извне невозмущенное) движение описывалось требуемыми равенствами (2).

Итак, рассмотренный нижний уровень построения движения (интроконтроллер) для наилучшего соответствия своему предназначению (помимо широкого, точного и оперативного доступа к сведениям, составляющим первую макрогруппу информационного обеспечения регулятора) должен обладать как можно более полным набором законов типа (2) и (3), а также, безусловно, развитым поисковым модулем, позволяющим эффективно осуществлять отображение вида

$$R: H \rightarrow P_l; H = \{\eta^\lambda(\bullet) \forall \lambda \in \overline{[1, L]}\};$$

$$P_l = \{\Pi_{l\lambda}(\bullet) \forall \lambda \in \overline{[1, L]}\}, \quad (4)$$

где H, P_l – множества законов желаемых, извне невозмущенных движений системы, а также управлений нижнего уровня, необходимых для реализации этих движений; R – оператор отображения, действующий из H в P_l . Здесь и далее любая функция с точкой на месте аргумента подразумевает совокупность её (функции) значений при всех допустимых значениях такого аргумента.

Одной из целесообразных форм организации указанного отображения может быть размещение в памяти описываемого уровня регулятора словаря «движение – управление», выделение которого в виде отдельного блока позволит упростить логическую структуру алгоритма, а также достаточно просто менять и наращивать правила реагирования в процессе обработки.

Синтезируемое движение системы, происходя в условиях, в общем случае, непредсказуемо изменяющейся обстановки, должно оставаться целенаправленным. Одним из наиболее эффективных способов преодоления этого затруднения является коррекция и координация компонентов упомянутого движения (реализуемых интроконтроллером), требующая, в свою очередь, оперативного слежения за внутренней и внешней обстановкой движения. Поэтому основным функциональным предназначением промежуточного уровня построения такого движения должно стать придание ему свойства приспособляемости к упомянутой обстановке, базирующегося на результатах обработки второй информационной макрогруппы и требующего, прежде всего, классификации этой обстановки. Для двигательной адаптации

достаточной, очевидно, является классификация обстановки по принципу дихотомии (в виде следующих один за другим уровней классов), за которой должна последовать ее параметризация. Последнее означает, что каждому выделенному классу обстановки в однозначное соответствие должны быть поставлены множества существенных для движения, доступных для наблюдения и однозначно идентифицирующих такой класс обстановки параметров. При решении различных двигательных задач классификация (и, как следствие, параметризация) одной и той же обстановки может существенно различаться.

При переходе внешней и (или) внутренней обстановки движения из класса в класс должно приниматься решение относительно стратегии адаптации этого движения, то есть – способа формирования управляющих воздействий на него $\Pi_{m\lambda}(t) \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$ со стороны адаптационного уровня регулятора (адаптера) в новых условиях. Как и обстановка, решения должны быть параметризованы. После этого, должны быть установлены зависимости типа:

$$\alpha_d = \alpha_d(v_c, t), \quad (5)$$

где v_c, α_d – параметры обстановки и решения. Иными словами, решения должны отслеживать обстановку. Тогда текущая структура взаимодействия функциональных модулей рассматриваемого уровня регулятора в процессе построения движения может определяться блоком классификации обстановки в зависимости от реализовавшегося ее класса и, в каждой конкретной ситуации, являться отображением (вообще говоря, неоднозначным) структуры обстановки, например, – согласно соотношениям

$$\aleph: \Gamma \rightarrow S, \quad (6)$$

где Γ и S – множества классов обстановки и структур адаптера; $\aleph$ – оператор (неоднозначный) отображения, действующий из Γ в S .

Обстановка движения, как отмечалось, может изменяться непредсказуемо. Поэтому достаточно адекватные алгоритмы синтеза требуемых законов $\Pi_{m\lambda}(t) \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$ могут быть построены лишь с использованием дифференциально-игровых методов [7], концептуально гарантирующих качество адаптации, которое при этом оценивается значением I интегрального (многокритериально характеризующего упомянутое качество адаптации) функционала Λ . Тогда указанные законы могут быть определены из равенств типа:

$$I = \inf_{P_m} \sup_W \Lambda \langle \Pi_{m\lambda}(t), E_\lambda(t) : \\ P_m = \{\Pi_{m\lambda}(\bullet)\}, W = \{E_\lambda(\bullet)\} \\ \forall \lambda \in [\overline{1, L}], t \in [t_s, \tau] \rangle, \quad (7)$$

где P_m, W – множества управлений адаптационного уровня построения движения, а также его возмущений; Λ – принятый для оценки функционал; $[t_s, \tau]$ – интервал построения движения МЛП.

Адаптационный уровень регулятора (аналогично предыдущему) может иметь в своем составе словарь «обстановка – управление». Для этого, помимо блока классификации (опознавания) обстановки, обладающего богатым набором параметризованных ожидаемых обстановок движения, на этом уровне его построения должен иметься поисковый модуль, эффективно реализующий отображение вида:

$$N : \Gamma \rightarrow P_m, \quad (8)$$

где N – оператор отображения, действующий из Γ в P_m .

Итогом реализации движения системы должно явиться исчерпывающее решение стоящих перед ним задач. Однако описанные уровни построения указанного движения (ни порознь, ни в совокупности) не имеют возможности такое решение обеспечить. Это – предназначение верхнего уровня регулятора (координатора). Обработывая информацию третьей макрогруппы, и, следовательно, исходя из глобальных целей конструируемого движения, этот уровень его построения должен, прежде всего, определять алгоритм достижения таких целей, т.е. осуществлять отображение вида:

$$Q : A \rightarrow \Xi, \quad (9)$$

где A, Ξ – множества целей, вытекающих из решаемых двигательных задач, а также алгоритмов их решения; Q – оператор отображения (в общем случае – неоднозначного), действующий из A в Ξ . Аналогично отображениям (4) и (8), соотношение (9) достаточно целесообразно может реализовываться соответствующим поисковым модулем после размещения в памяти координационного уровня регулятора словаря «задача – алгоритм».

Двигательные задачи, подлежащие решению (с их детализацией до преследуемых целей), должны ставиться перед системой извне (например, с помощью модуля-задатчика) и корректироваться с учетом складывающейся об-

становки (которая оценивается адаптером). Поэтому конкретизация, как элемента множества A , так и вида оператора Q в каждом случае должна осуществляться с учетом обоих этих факторов. Алгоритмы же, являющиеся элементами множества Ξ , в подавляющем большинстве случаев могут иметь цепное строение в том смысле, что каждый из них может предполагать последовательную реализацию ряда более или менее разнообразных паттерн движений, связанных между собой смыслом решаемой двигательной задачи и (в результате этой реализации) закономерно приводящих к ее исчерпывающему решению. Поэтому, вслед за выявлением общего алгоритма такого решения, должен определяться двигательный состав задачи (т.е. – минимально достаточный набор упомянутых паттерн движений), инициироваться запросы на их реализацию (под непосредственным управлением интроконтроллера во взаимодействии с адаптером), а также осуществляться тщательный контроль и корректировка (например, – с использованием алгоритма аркана [2]) этой реализации. В результате осуществления этого блока операций синтезируются управления $\Pi_{i\lambda}(t) \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$. Таким образом, в любой момент как информационные потоки координатора (между ним, с одной стороны, и адаптером, задатчиком, а также интроконтроллером – с другой), так и обслуживающие его функционирование фоновые паттерны движений должны быть релевантны решаемой ими (в совокупности) задаче. В то же время, функциональная организация такого решения всегда должна предшествовать его двигательной организации.

Итак, результирующее движение системы строится в процессе синтетического взаимодействия трех описанных уровней регулятора. Ведущая роль в таком построении всегда принадлежит верхнему уровню, который, с помощью синтезируемых им управлений $\Pi_{i\lambda}(t) \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, координирует работу двух ниже лежащих уровней так, чтобы упомянутое результирующее движение всегда оставалось целенаправленным (т.е., решало поставленные перед ним задачи). Базис того же построения составляют паттерны движений, а также их устойчивые синергии, конструируемые нижним уровнем регулятора (с учетом всех «внутренних» особенностей системы управления) под воздействием управлений $\Pi_{i\lambda}(t) \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$. Наконец, адаптация движения к внешней обстановке осуществляется под воздействием

управлений $\Pi_{m\lambda}(t) \forall \lambda \in [1, L]$, синтезируемых промежуточным уровнем регулятора. Тот же уровень корректирует подлежащие решению двигательные задачи исходя из результатов оценки обстановки.

В возможности точной, адекватной и эвристичной декомпозиции задачи построения движения МЛП на ряд более простых подзадач (многие из которых в значительной части могут быть решены заблаговременно, в стационарных условиях – на стадии проектирования регулятора) и, благодаря этому, существенного повышения качества такого движения (за счет реализации возникающей возможности более точного решения упомянутых подзадач), достигаемого без использования сложных алгоритмов управления им, заключаются основные преимущества предлагаемой методики упомянутого построения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков, В. А. Тензорное моделирование движения магнитолевитирующего поезда относительно пути [Текст] / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вестн. ХНТУ – 2007. – № 2 (28). – С. 265-270.
2. Коренев, Г. В. Очерки механики целенаправленного движения [Текст] / Г. В. Коренев. – М.: Наука, 1980. – 192 с.
3. Дзензерский, В. А. Динамика транспорта на сверхпроводящих магнитах [Текст] : метод. рекомендации / В. А. Дзензерский, Н. А. Радченко. – Д.: Арт-Прогресс, 2003. – 232 с.
4. Охоцимский, Д. Е. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата [Текст] / Д. Е. Охоцимский, Ю. Ф. Голубев. – М.: Наука, 1984. – 312 с.
5. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 332 с.
6. Мангейм, М. Л. Иерархические структуры [Текст] / М. Л. Мангейм. – М.: Мир, 1970. – 180 с.
7. Красовский, Н. Н. Управление динамической системой. Задача о минимуме гарантированного результата [Текст] / Н. Н. Красовский. – М., 1985. – 520 с.

Поступила в редколлегию 20.05.2009.

Принята к печати 04.06.2009.

А. В. РАДКЕВИЧ, О. О. СТЕПАНЕНКО, І. М. ЩОКА, С. О. ЯКОВЛЄВ (ДІТ)

НАПРЯМИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ НЕПОРУШНИМИ ЗАПАСАМИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ У ПІДРОЗДІЛАХ ДЕРЖСПЕЦТРАНССЛУЖБИ

Розглянуто напрями формалізації управління непорушними запасами технічних засобів у підрозділах Держспецтрансслужби для підвищення рівня ефективності виконання поставлених перед ними завдань.

Рассмотрены направления формализации управления неприкосновенными запасами технических средств в Держспецтрансслужбы для повышения уровня эффективности выполнения поставленных перед ними .

The directions to formalization of management of the inviolable reserves of technical facilities in subdivisions of the Derzhspetsstranssluzhba (State Special Transport Service) for the increase of efficiency level of realization of the tasks put before them are considered.

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вирішення актуальних завдань щодо забезпечення непорушними запасами Держспецтрансслужби, без чого неможливо досягти ефективного виконання плану розвитку та реформування Держспецтрансслужби на основі науково обґрунтованих принципів. Однією з найбільш недосконалих у ресурсному забезпеченні на сьогодні є система накопичення непорушних запасів, успадкована Держспецтрансслужбою від Збройних Сил України. Держспецтрансслужба має неадаптовану до сучасних умов власну систему забезпечення непорушних запасів, що призводить до недооцінки окремими командирами загонів важливості накопичення запасів, вимагає значних фінансових витрат.

Сьогодні ж теоретичні й практичні питання в цій сфері є недостатньо дослідженими. Зокрема, існують досить суперечливі погляди на шляхи вдосконалення існуючої системи забезпечення матеріально-технічними засобами.

Водночас дослідження, в яких би з використанням системного підходу розглядалися управлінські аспекти комплексної проблеми ресурсного забезпечення, практично відсутні. Підтвердження цього, зокрема, є недосконалість і суперечливість рішень, що приймаються керівництвом Міноборони. Тому дослідження явищ (процесів, об'єктів), розробка та впровадження державно-управлінських рішень у названій сфері, які б відрізнялися чіткістю, лаконічністю, однозначністю, раціональністю, пов'язані зі значними труднощами. Для подолання цих труднощів вимагається інтеграція зусиль вітчизняних науковців, політиків, управ-

лінців для пошуку принципово нових ідей, вироблення політичних та управлінських рішень у контексті осмислення сучасних поглядів на сутність, засоби, способи й методи ресурсного забезпечення на основі науково обґрунтованих засад державного управління у сфері забезпечення національної безпеки, що й визначило мету, завдання, предмет, гіпотезу та методи дослідження.

Тому дослідження норм ешелонування та накопичення непорушних запасів матеріально-технічних засобів для забезпечення ремонту техніки структурних підрозділів Державної спеціальної служби транспорту є актуальним завданням.

Основана частина

Пропонуються напрями до формалізації управління непорушними запасами (НЗ) технічного майна Держспецтрансслужби, які базуються на виборі евристичної залежності ефективності застосування підрозділу Держспецтрансслужби для забезпечення (його обсягу та якості), як показано на рис. 1. З рисунку видно, що якщо забезпечення НЗ менше від мінімально можливого обсягу (задовільної якості) $R_{r\text{min}}$, то воно повністю нівелює максимальну ефективність підрозділу E_m , якої він може досягти в певних умовах обстановки при виконанні завдань за призначенням.

Подальше збільшення обсягу забезпечення НЗ до величини $R_{r\text{ж}}$ дає змогу досягти рівня ефективності підрозділу $E_{\text{ж}}$ без використання засобів інженерного захисту або інших видів захисту від різноманітного несприятливого впливу.

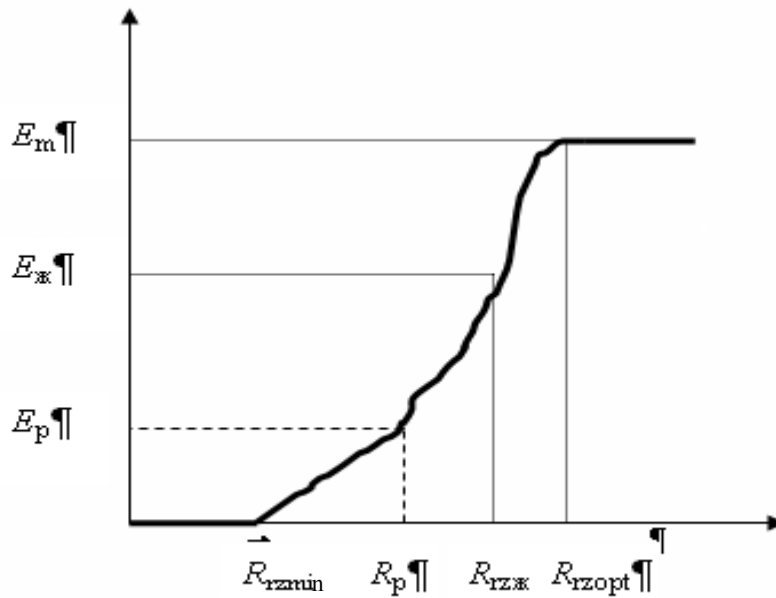


Рис. 1. Евристична залежність ефективності застосування підрозділу від забезпечення непорушними запасами

Забезпечення засобами захисту R_{zopt} дає змогу підвищити ефективність підрозділу до значення E_m за рахунок збереження живучості техніки в умовах різноманітного несприятливого впливу.

Суть підходу полягає в тому, що у формалізованому вигляді управління НЗ включає множину організаційних заходів $\{Org_{sk}\}$. Усі організаційні заходи Org мають бути спрямовані на досягнення найбільшої ефективності підрозділу Держспецтрансслужби E_p при мінімально можливому їх фінансуванні, але за умови, що загальне фінансування $\sum C_{sk}$ не буде перевищувати його встановлений рівень $C_{rz m}$:

$$Org_{sk} \Rightarrow E_p \rightarrow \max \text{ при } C_{sk} \rightarrow \min; \sum C_{sk} < C_{rz m}.$$

Пропонуються основні засади розробки комплексної моделі забезпечення НЗ (рис. 2), які базуються на гіпотезі дослідження, згідно з якою забезпечення НЗ не повинно знижувати можливості підрозділу Держспецтрансслужби щодо виконання покладених на нього функцій за призначенням, а його вартість – перевищувати допустимий рівень фінансування. Такі засади передбачають формування вимог до забезпечення НЗ на основі запропонованого критерію оцінки ступеня відповідності поточного забезпечення потребам кожного підрозділу Держспецтрансслужби для виконання ним поста-

вленого завдання з ефективністю, не нижчою за нормативно встановлену.

У формалізованому вигляді зазначене регулювання G_{uorg} означає вибір такого варіанту рішення $\mathcal{R}_j$ щодо замовлень, закупівель, накопичення, постачання та експлуатації технічного майна для кожного i -го підрозділу Держспецтрансслужби для виконання з необхідним рівнем ефективності кожного k -го з поставлених перед цим завдань, який передбачатиме найменші витрати за умови збереження можливостей підрозділу Держспецтрансслужби щодо виконання таких завдань.

У процесі оцінювання впливу повноти забезпечення R_{rz} на ефективність виконання i -м підрозділом Держспецтрансслужби k -го завдання E_{ik} як критерій оцінки вибрано ступінь відповідності поточного забезпечення потребам i -го підрозділу Держспецтрансслужби для виконання згаданого завдання з ефективністю, не нижчою від E_{ikmp} . У разі невиконання умови $E_{ik}(R_{rz}) \geq E_{ikmp}$ і незмінного рівня фінансування вимоги до забезпечення НЗ знижуються. Такий підхід забезпечує науковий супровід механізмів прийняття управлінських рішень щодо реформування системи забезпечення НЗ у загальній системі матеріального забезпечення Держспецтрансслужби в умовах обмеженого фінансування.

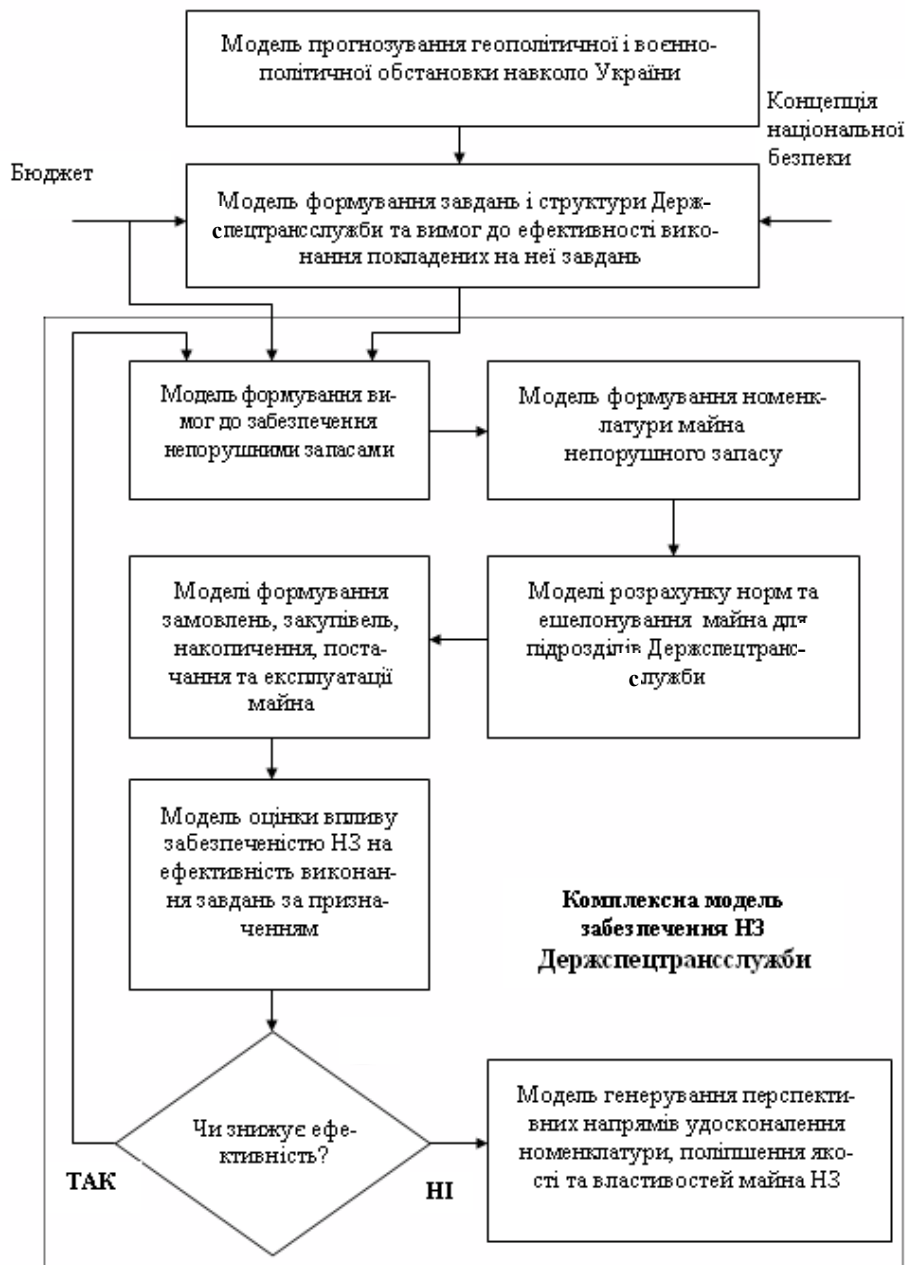


Рис. 2. Моделювання забезпечення Держспецтрансслужби НЗ в системі забезпечення національної безпеки України

Висновок

Розглянута комплексна модель забезпечення НЗ може бути використана й для розв’язування оберненої задачі, а саме визначення необхідних витрат на забезпечення НЗ підрозділів Держспецтрансслужби, за якого не буде обмежуватися нормативно встановлений необхідний рівень ефективності виконання підрозділами Держспецтрансслужби поставлених перед ними завдань.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію», зі змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 13.05.1999 № 644 (Законом України від 13.05.1999 № 644-XIV цей Закон викладено в новій редакції), від 22 травня 2003 року № 860-IV, від 2 березня 2005 року № 2435-IV (Законом України від 2 березня 2005 року № 2435-IV цей Закон викладено у новій редакції) [Текст].
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 21.09. 2005 р. № 936 «Про затвердження Програми формування та розвитку Державної спе-

- ціальної служби транспорту на 2005–2015 роки» [Текст].
3. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення [Текст]. ДСТУВ 3576-97 Держстандарт України. – Укр. НДІСІ, 1998. – 59 с.
 4. Збірник нормативно-правових актів з питань будівництва та розвитку Державної спеціальної служби транспорту [Текст].
 5. Техническое обеспечение железнодорожных войск (РТО-86) [Текст]. – М.: Воениздат, 1988. – 192 с.
 6. Приказ Министра обороны РФ от 12 мая 1998 г. № 224 «Об утверждении руководства по содержанию вооружения и военной техники, запасов военно-технического имущества и других материальных средств в соединениях и воинских частях постоянной готовности сухопутных войск» [Текст].
 7. Приказ Министра обороны СССР № 43, 1982 г. «Комплекты запасных частей, шанцевого инструмента и заправочного инвентаря, подлежащих накоплению в мирное время в народном хозяйстве и передаче вместе с автомобилями, тракторами, дорожностроительными, погрузочно-разгрузочными машинами и электростанциями, поставляемыми в Вооруженные силы СССР по мобилизации» [Текст].

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 21.01.2010.

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ НА ГІРКАХ

Проаналізовано історію розвитку технології роботи і технічного оснащення сортувальних пристроїв для переробки вагонів на залізничних станціях України та за кордоном. Наведено опис сучасних автоматизованих систем управління процесом розформування составів. Вказано на необхідність попередньої оцінки ефективності автоматизації сортувального комплексу.

Проанализирована история развития технологии работы и технического оснащения сортировочных устройств для переработки вагонов на железнодорожных станциях Украины и за рубежом. Приведено описание современных автоматизированных систем управления процессом расформирования составов. Указано на необходимость предварительной оценки автоматизации сортировочного комплекса.

The history of development of working technology and technical equipment of the marshalling devices for reclassification of wagons at Ukrainian and foreign railway stations is analyzed. The description of modern automated systems of managing the process of breaking-up trains is presented. The necessity of preliminary estimation of automation for the marshalling complex is indicated.

Найважливішим елементом в технології перевізного процесу на залізницях України є переробка вагонів на сортувальних станціях. Від якості роботи та технічних характеристик сортувальних пристроїв цих станцій залежить безпека технологічного процесу розформування та формування составів, схоронність вантажів, а відповідно рентабельність та конкурентоспроможність залізниць на ринку транспортних послуг.

Ключову роль у роботі сортувальних станцій відіграють сортувальні гірки. Для підвищення ефективності їх роботи на різних етапах розвитку робились спроби удосконалення їх технічного забезпечення та технології.

У 30-х рр. минулого століття при розформуванні составів гальмування відцепів, які скочувались, виконувалось гальмовими башмаками [1]. При цьому використовувались наступні види башмаків: одnobортні, двобортні, півторабортні, башмак Бюссинга, башмак Рязано-Уральської залізниці. Спроби замінити башмаки більш механізованими та кращими пристроями привели до винаходу ретардерів, або уповільнювачів. Перші ретардери (система Лозе або «коліїні гальма» – Gleisbremse) застосовувались вже на початку ХХ століття, але не для сортування, а для закріплення вагонів при навантаженні та вивантаженні. Розвиток їх в застосуванні до сортування почався в період Першої світової війни, а особливо після неї у

Німеччині та США. Найбільш розповсюдженими на той час у Європі типами ретардерів були тип Фреліха або Тіссен-Хютте, електромагнітний уповільнювач Безелера (Мюнхен), який був побудований на принципі електромагнітних шин, уповільнювач системи Марше з опускною рейкою (Франція), електропневматичний уповільнювач Уестардейр (Англія) (рис. 1) [2].

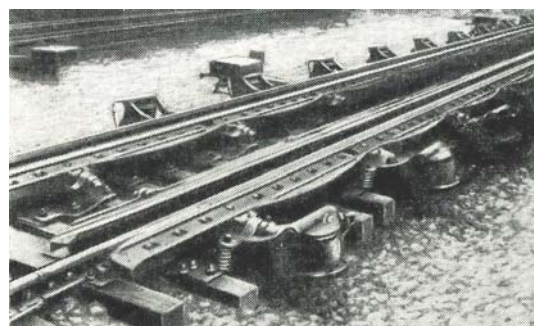


Рис. 1. Загальний вигляд електропневматичного уповільнювача Уестардейр

Перші вагонні уповільнювачі балкового типу були розроблені у США і встановлені на сортувальній гірці станції Гібсон біля Чикаго, а згодом на сортувальній станції Хамм (Вестфалія) почав працювати механізований комплекс, що складався з чотирьох гідравлічних вагонних уповільнювачів.

На деяких закордонних залізницях застосовувались прискорювачі, наприклад, прискорювачі системи Позентруп-Гейнріх (Німеччина), які, у протилежність уповільнювачам, вирівню-

вали швидкість руху різних відцепів, надаючи поганим бігунам додаткове прискорення.

Багаторічна науково-дослідна робота, яка проводилась і проводиться у країнах СНД та за його межами, по винахідництву технічних засобів регулювання швидкості руху відцепів на сортувальних пристроях привела до створення багатьох конструкцій гальмівних і прискорювально-гальмівних засобів.

Так, на залізничних станціях України основними технічними засобами для регулювання швидкості руху вагонів є балочні вагонні уповільнювачі різних типів (вагові (КВ-3), натискні (Т-50, КНП-5, ВЗПГ, НК-114, РНЗ-2, УВСК (рис. 2)) [3].



Рис. 2. Вагонний уповільнювач УВСК

Сортувальні гірки Російської Федерації обладнані пневматичними натискними КЗ-5, натискними НК-114 у 3-х, 4-х та 5-ланковому виконанні, та балочними уповільнювачами РНЗ-2М.

У світовій практиці експлуатації сортувальних гірок використовується технологія квазінеперервного регулювання швидкості відцепів, при якій сортувальні гірки обладнуються неуправляючими точковими уповільнювачами ТВЗ (Німеччина, Угорщина, КНР) двох різних конструкцій – газонаповнювані типу DOWTY (ДАУТІ) та домкратовидні уповільнювачі виробництва науково-дослідного центру TDJ (КНР).

На гірках з інтенсивною сортувальною роботою для паркової зони передбачаються вагоноосаджувачі. Вони розташовуються усередині рейкової колії і переміщуються автоматично керованими тросами. За необхідності вагоноосаджувачі доводять відцепи до вагонів, що знаходяться на колії. Такі пристрої застосовують, наприклад, на сортувальних гірках Мюнхена (Німе-

ччина), Цюриха (Швейцарія) і Роттердама (Нідерланди) [3].

Для підвищення продуктивності сортувальних гірок, підвищення якості процесу розформування составів, ефективного використання технічних засобів, покращення умов праці робітників гірки та зниження витрат на розформування составів з 50-х рр. ведуться роботи з автоматизації технологічного процесу розформування составів.

Аналіз світової практики показав, що перший гірковий комплекс, який управлявся електронікою, був створений на станції Кирк недалеко від Чикаго, і вже в 1960-і роки більшість великих сортувальних станцій були цілком автоматизовані.

У 1999 р. компанія Belt Railway (Чикаго) встановила інформаційно-керуючу систему PROYARD виробництва General Electric Transportation Systems (GETS) з метою оптимізації сортувального процесу та мінімізації пошкоджень вагонів на сортувальній станції Бедфорд-Парк (штат Іллінойс) [4]. Під час прийому вагонів на сортувальну станцію пристрої системи автоматичної ідентифікації (AEI) зчитують з вагонних маркерів дані, які система PROYARD порівнює підтверджуючи або коректуючи, з отриманими від служби перевезень. Потім вагони проходять через ваги та ряд датчиків, що визначають їх ходові характеристики. У систему PROYARD вводяться отримані дані, доповнюючись інформацією про погодні умови, ухил сортувальної гірки та відстань, яку повинен пройти кожен відцеп до зчеплення із вагонами, що стоять на сортувальних коліях. До установки системи PROYARD у більше ніж половині випадків швидкість підходу відцепів до вагонів на сортувальних коліях перевищувала нормативну. Із введенням в експлуатацію системи допустима швидкість не порушується у 90 % випадків.

Канадська компанія Canadian National, для підвищення продуктивності сортувальної станції Макміллан, наприкінці 2002 р. запровадила систему PROYARD II. До функцій цієї системи входить визначення швидкості розпуску в залежності від ряду факторів, враховуючи рід вантажу у вагоні. Комп'ютер дозволяє точно визначити момент виходу вагона на вершину гірки та керувати подальшим його рухом.

На вітчизняних станціях перші спроби автоматизації сортувального процесу привели до розробки вченими Всеросійського науково-

дослідного інституту залізничного транспорту (ВНИИЖТ) комплексу систем гіркової автоматики (АРС-ЦНП, АЗСР-ЦНП, ГАЦ-ЦНП, ТГЛ-ЦНП), що вирішував загальну проблему розформування составів з гірки [5].

З появою у 90-ті роки мікропроцесорної обчислювальної техніки, яка здатна працювати у системах управління виконавчими процесами та вирішувати інформаційно-плануючі задачі, виникли передумови для утворення комплексних систем автоматизованого управління сортувальною станцією. До основних переваг цих систем відносяться: забезпечення безпеки технологічного процесу сортування вагонів та зниження ролі «людського фактора» в процесі управління, підвищення продуктивності праці та якості розформування составів на найважливіших сортувальних станціях за рахунок впровадження нових технічних засобів та технологій, об'єднання інформаційно-плануючого та керуючого рівнів сортувальної станції в єдину комплексну систему безперервної дії, яка функціонує на базі операційної системи реального часу.

Нове розуміння задач розвитку та управління технологічним процесом на сортувальних станціях Росії знайшло своє відображення у «Програмі розвитку та концепції механізації та автоматизації технологічних процесів сортувальних станцій на період 2000-2005 рр.», що розроблена у Всеросійському науково-дослідницькому та проектно-конструкторському інституті залізничного транспорту (ВНИИАС) спільно зі спеціалістами галузі з метою покращення техніко-економічних показників сортувального процесу. В межах реалізації цієї концепції зараз ведуться роботи по розробці нових систем [6]: АРС ТРАКТ, УУПТ, КГМ-ПК. У 2003 році на Московській залізниці (станція Бекасово-Сортувальна) було введено в постійну експлуатацію комплексну систему автоматизованого управління сортувальною станцією (КСАУ СС) [7]. КСАУ СС включає в себе підсистеми: ГАЛС Р та КВГ – підсистеми управління насумом та розпуском составів, автоматизують технологічні процеси завдання маршруту та регулювання швидкості насуму состава на гірку, а також розпуску состава в залежності від поточної ситуації на гірці; ГАЦ МН, АРС-УУПТ, КДК СУ ГАЦ – про змінення стану колійних ділянок, положення стрілочних переводів, показань світлофорів, прохід рухо-

мого складу по датчикам рахування осей, що розташовані в районі сортувальної гірки.

Для визначення ходових властивостей відцепів КСАУ СС включає: вимірювач вагової категорії відцепів, вимірювач ступеню заповнення вагонами підгіркових колій, обчислювач швидкості, з якою необхідно випускати відцепи з гальмівних позицій, вимірювач фактичної швидкості руху відцепів.

Дані про ходові властивості отримуються в процесі вільного скочування вагонів на вимірювальній ділянці, що розташована між вершиною гірки та першою гальмівною позицією. Для вимірювання ваги відцепів використовуються автоматичні вагонні ваги MULTIRAIL LegalWeight (рис. 3) та MULTIRAIL MultiBridge (при зважуванні вагонів на ходу зі швидкістю їх руху 5...10 км/год похибка вимірювання складає $\pm 1\%$), розроблені разом компаніями SCHENCK PROCESS GmbH та Schenck spol s r.o.



Рис.3. Автоматичні вагонні ваги:
а) MULTIRAIL LegalWeight,
б) MULTIRAIL MultiBridge

Для зменшення впливу динамічних навантажень, що виникають при зважуванні на ходу, у конструкцію ваговимірювальних пристроїв включено спеціальні компенсаційні схеми, які дозволяють зменшити похибку зважування до $\pm 0,2\%$.

Ходові властивості відцепів, довжина яких перевищує місткість вимірювальної ділянки, встановлюються за ваговими категоріями.

Опір руху відчепа на прямих ділянках колії визначається по результатах вимірювання прискорення його руху на вимірювальній ділянці.

Дійсна швидкість руху відцепів безперервно вимірюється швидкостемірами (РИС-В2 або

РИС-ВЗМ), що встановлені біля кожної гальмівної позиції. При досягненні відчепом заданої швидкості спрацьовує керуючий пристрій та гальмування припиняється. Якщо ж змінюються метеорологічні умови або виникає необхідність сортувати вагони із особливою обережністю – гірковий оператор за допомогою перемикача ШНП (швидко, нормально, повільно) може змінювати швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій, що задані обчислювальним пристроєм.

Контроль заповнення підгіркових колій вагонами (КЗП) здійснюється безстиковими рейковими колами довжиною по 25 м. Розроблені також системи КЗП на принципі розрахунку осей рухомого состава КЗП-СО, що використовуються для контролю розміщення відчепів на ГП і ведення моделі переміщення його осей в уповільнювачах, система автоматичного накопичення вагонів КЗП-ДИП (контроль заповнення колій – датчик імпульсний колійний), що охоплює до 360 м довжини підгіркових колій (система дозволяє операторам спостерігати за розпуском вагонів в електронному режимі, причому автоматика сама включає гіркові уповільнювачі в потрібний момент) та система контролю заповнення колій на основі імпульсно-зондування (КЗП-ИЗ).

Для будівництва та модернізації сортувальних станцій Західної Європи (Швейцарія, Австрія, Німеччина) департаментом транспортної техніки фірми SIEMENS розроблено універсальний мікропроцесорний комплекс MSR 32, побудований на базі 32-бітових процесорів, об'єднаних в мережу, для гірок великої, середньої та малої потужності [8, 9].

Принцип дії системи MSR 32 наступний. Інформація від усіх вимірювальних пристроїв та датчиків сортувальної гірки, а також парків прийому та відправлення поступає на центральний процесор. Після обробки усіх даних звідти виконується управління локомотивом, усіма гальмівними позиціями, а також вагоноосаджувачами. Система автоматично керує маршрутами розпуску, розпізнає відчепи, що скочуються повільно та відводить відчепи, що доганяють, на сусідні колії (попереджаючи співударання та наїзди). За рахунок управління вагонними уповільнювачами достатньо точно регулюється швидкість відчепів, що дозволяє досягти оптимального заповнення підгіркових колій. Представлену систему вже запроваджено на сортувальних станціях Швейцарії (Цюрих), Австрії

(Відень), Німеччина (гірка «Південна Ельба» поблизу порту Гамбург), а також на залізницях колишнього СРСР (станція Вайдотай у Литві [10]). Наприкінці 2008 року представниками фірми SIEMENS та БАТ «РЖД» (Росія) було підписано меморандум про співробітництво, що передбачає автоматизацію станцій Черняховськ та Лужська-Сортувальна [11].

Розвиток засобів автоматизації сортувального процесу привів до створення та введення в дію різноманітних автоматизованих систем управління процесом розформування составів на сортувальних гірках. Але недоліком усіх представлених функціонуючих систем автоматизації є те, що вони достатньо дорогі в будівельному та експлуатаційному відношеннях.

Розробці проекту автоматизації конкретної сортувальної гірки повинна передувати попередня оцінка його ефективності. В сучасних умовах конкуруючі варіанти конструкції та технічного оснащення сортувальних гірок доцільно порівнювати при використанні математичних методів. Широкого використання набуло імітаційне моделювання виробничих процесів на ЕОМ, що дозволяє порівнювати різні організаційно-технічні заходи і пропозиції щодо вдосконалення технології і технічного оснащення сортувального комплексу.

Такий підхід дає можливість на підставі імітаційних експериментів обрати оптимальний варіант автоматизованої системи управління, який не допустить погіршення існуючих експлуатаційних показників сортувальної гірки, забезпечить найбільші швидкості розпуску, дальність та ступінь точності прицільного управління скочуванням вагонів з гірки при повній гарантії безпеки та надійності її роботи, а також буде ефективною у економічному та техніко-експлуатаційному відношеннях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сортировочные станции зарубежных железных дорог [Текст] / Д. Н. Никитин и др. – М.: Трансжелдориздат, 1957. – 175 с.
2. Образцов, В. Н. Станции и узлы [Текст]. – Ч. 2 / В. Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 492 с.
3. Берестов, І. В. Гіркові технічні засоби [Текст] : учб. посібник для студ вузів заліз. трансп. / І. В. Берестов, Є. В. Нагорний. – Х.: Регіонінформ; К.: Трансп. України, 1998.
4. Kube, K. [Text] / K. Kube // Progressive Railroad-ing. – 2002. – № 7. – Р. 50-52.

5. Фонарев, Н. М. Автоматизация процесса формирования составов на сортировочных горках [Текст] / Н. М. Фонарев. – М.: Транспорт, 1971. – 272 с.
6. Савицкий, А. Г. Концепция автоматизации и механизации процессов на сортировочных станциях [Текст] / А. Г. Савицкий // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 4. – С. 49-52.
7. Савицкий, А. Г. Технологические средства на сортировочных станциях: вчера, сегодня, завтра [Текст] / А. Г. Савицкий. – 2005. – С. 33-37.
8. Берндт, Т. Сортировочные горки на железных дорогах мира [Текст] / Т. Берндт, С. В. Власенко // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 6. – С. 45-48.
9. Сименс: заслуженная высокая репутация [Текст] // Евразия вести. – 2004. – № 11. – С. 29.
10. Модернизация завершена [Электронный ресурс] // Литовский курьер on-line №18 (740) 30 Апреля. – Режим доступа: <http://www.kurier.lt>
11. Горка-автомат [Электронный ресурс] // Гудок.RU 21.05.2009 – Режим доступа: <http://www.gudok.ru>
12. Бобровский, В. И. Оценка эффективности систем автоматизации сортировочного процесса методом моделирования [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08. – Д., 1973. – 236 с.
13. Пособие по применению норм и правил проектирования сортировочных устройств [Текст]. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
14. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю. А. Муха и др. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.
15. Сагайтис, В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок [Текст] : справочник / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – М.: Транспорт, 1985. – 208 с.

Надійшла до редколегії 16.12.2009.

Прийнята до друку 28.12.2009.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Наведено аналіз залежності магнітних втрат у тягових електродвигунах від частоти перемагнічування якоря. Запропоновано універсальну характеристику магнітних втрат, приведених до частоти перемагнічування 50 Гц.

Приведен анализ зависимости магнитных потерь в тяговых электродвигателях от частоты перемагничивания якоря. Предложена универсальная характеристика магнитных потерь, приведенных к частоте перемагничивания 50 Гц.

The analysis of dependence of the magnetic losses in hauling electric motors on the frequency of armature remagnetization is presented. A universal characteristics of the magnetic losses reduced to the frequency of remagnetization of 50 Hertz is offered.

К магнитным потерям в тяговых электрических машинах (ТЭД) относятся потери в ярме и зубцах сердечника якоря, а также потери в стали полюсных наконечников главных полюсов, обусловленные зубчатым строением якоря и самого полюсного наконечника.

Наиболее широко известна формула для определения магнитных потерь в виде [1]:

$$\Delta P_m = (2,4 \div 2,7)(m_a p_a + m_z p_z), \quad (1)$$

где m_a , m_z – массы стали ярма и зубцов якоря, соответственно;

p_a , p_z – удельные потери в стали ярма и зубцов якоря, соответственно.

Удельные потери в каждом из элементов могут быть определены по формулам:

$$p_a = p_{ат} + p_{ав}; \quad (2)$$

$$p_z = p_{зг} + p_{зв}, \quad (3)$$

где $p_{ат}$, $p_{зг}$ – удельные потери от гистерезиса в ярме и зубцах якоря, соответственно;

$p_{ав}$, $p_{зв}$ – удельные потери от вихревых токов в ярме и зубцах якоря, соответственно.

Определяются перечисленные составляющие удельных магнитных потерь следующим образом:

$$p_{ат} = 0,044 f \cdot B_a^2; \quad (4)$$

$$p_{зг} = 0,044 f \cdot B_z^2; \quad (5)$$

$$p_{ав} = 5,6 \left(\frac{f}{100} \right)^2 \cdot B_a^2; \quad (6)$$

$$p_{зв} = 5,6 \left(\frac{f}{100} \right)^2 \cdot B_z^2, \quad (7)$$

где f – частота перемагничивания стали якоря;

B_a , B_z – индукции в ярме и зубцах якоря, соответственно.

Объединив формулы (1)–(7), после преобразований получим

$$\Delta P_m = (2,4 \div 2,7) (0,044 f + 0,00056 f^2) \times (m_a B_a^2 + m_z B_z^2). \quad (8)$$

Индукции в рассматриваемых элементах могут быть определены как:

$$B_a = \frac{\Phi}{S_a}; \quad (9)$$

$$B_z = \frac{\Phi}{S_z}, \quad (10)$$

где Φ – магнитный поток тягового электродвигателя;

S_a , S_z – площади поперечного сечения соответствующих элементов.

Магнитный поток может быть найден из формулы для э.д.с.

$$E = c \Phi \omega, \quad (11)$$

где c – конструктивная постоянная электромашины;

ω – угловая скорость вращения якоря.

Конструктивная постоянная определяется как

$$c = \frac{pN}{2\pi a}, \quad (12)$$

где p и a – число пар полюсов и параллельных ветвей электромашины, соответственно;

N – число активных проводников якоря.

Угловая скорость вращения якоря может быть выражена через частоту перемагничивания якоря f как

$$\omega = \frac{2\pi}{p} \cdot f. \quad (13)$$

Объединив формулы (11)–(13), после преобразований получим выражение для магнитного потока электромашины в виде зависимости от э.д.с. и частоты перемагничивания:

$$\Phi = \frac{a \cdot E}{N \cdot f}. \quad (14)$$

Объединив формулы (8)–(10) и (14), после преобразований получим выражение для определения магнитных потерь в виде

$$\Delta P_m = (0,106 \div 0,119) \frac{a}{N} \times \left(\frac{m_a}{S_a^2} + \frac{m_z}{S_z^2} \right) \left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right) \cdot E^2. \quad (15)$$

Выполнив замену

$$K_m = (0,106 \div 0,119) \frac{a}{N} \left(\frac{m_a}{S_a^2} + \frac{m_z}{S_z^2} \right), \quad (16)$$

получим более простое выражение:

$$\Delta P_m = K_m \cdot \left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right) \cdot E^2. \quad (17)$$

Заметим, что K_m – постоянная для данной

электромашины. Таким образом, магнитные потери в тяговой электромашине вне зависимости от вида её возбуждения пропорциональны квадрату э.д.с. и выражению $\left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right)$, где f измеряется в герцах:

$$\Delta P_m \sim \left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right) \cdot E^2. \quad (18)$$

Для большинства тяговых электромашин э.д.с. с приемлемой для данного анализа степенью допущений можно считать приблизительно равной напряжению на якоре U . При этом ошибка для режимов работы электромашины, близких к номинальному, не будет превышать 4 %:

$$E \approx U.$$

Тогда магнитные потери в тяговой электромашине будут пропорциональны квадрату напряжения:

$$\Delta P_m \sim \left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right) \cdot U^2. \quad (19)$$

Выражение (19), полученное в данном анализе, даёт возможность построить универсальную зависимость магнитных потерь в тяговых электродвигателях в относительных единицах от частоты перемагничивания якоря в герцах.

Магнитные потери в относительных единицах могут быть определены по формуле:

$$\Delta p_m = \frac{1}{f} + 0,0127. \quad (20)$$

Результаты расчета зависимости $\Delta p_m(f)$ по формуле (20) приведены в табл. 1.

Таблица 1

f , Гц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Δp_m , о.е.	0,113	0,063	0,046	0,038	0,033	0,029	0,027	0,025	0,024	0,023

Учитывая, что значения Δp_m получены в относительных единицах, и для удобства пользования зависимостью есть смысл привести относительные потери Δp_m к частоте перемагничивания $f = 50$ Гц. Это частота приблизительно соответствует часовому режиму рабо-

ты многих современных шестиполюсных тяговых электродвигателей электровозов.

После преобразований получим новые, более удобные, значения $\Delta p_{m/50}$ в относительных единицах, которые приведены в табл. 2.

График полученной зависимости приведен на рис. 1.

Таблица 2

f , Гц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta p_{м/50}$, о.е.	3,45	1,92	1,41	1,15	1	0,898	0,825	0,77	0,728	0,694

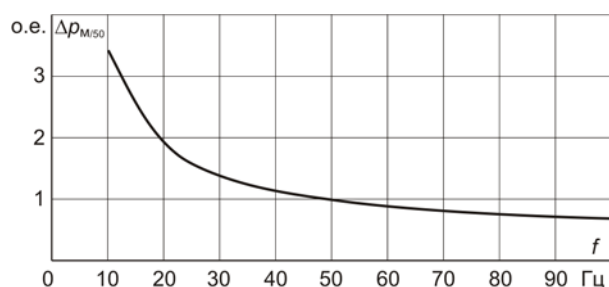


Рис. 1

Отметим, что полученная универсальная зависимость $\Delta p_{м/50}(f)$ является общей для всех тяговых электромашин постоянного тока вне зависимости от способа их возбуждения (последовательное, параллельное, смешанное). Она может использоваться как для двигательного, так и для генераторного режима работы электромашин.

Формула для определения относительных магнитных потерь, приведенных к частоте перемагничивания, равной 50 Гц (табл. 2), будет иметь вид:

$$\Delta p_{м/50} = \frac{30,8}{f} + 0,385. \quad (21)$$

Эта же формула может быть преобразована к виду, удобному для проведения расчетов магнитных потерь тяговых электродвигателей через частоту вращения в об/мин

$$n = \frac{60}{p} \cdot f. \quad (22)$$

Для шестиполюсных тяговых двигателей при $p = 3$

$$n = 20 f. \quad (23)$$

Подставив (23) в (21), получим формулу для относительных магнитных потерь, приведенных к частоте вращения якоря $n=1000$ об/мин в виде:

$$\Delta p_{м/50} = \frac{615}{n} + 0,385. \quad (24)$$

Результаты расчета по формуле (24) приведены в табл. 3, а графически эта же зависимость представлена на рис. 2.

Таблица 3

n , об/мин	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$\Delta p_{м/50}$, о.е.	3,45	1,92	1,41	1,15	1	0,898	0,825	0,77	0,728	0,694

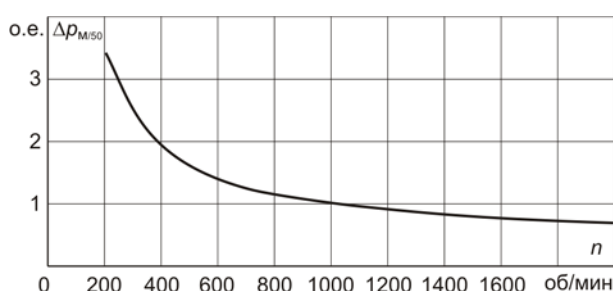


Рис. 2

Для проверки адекватности полученной характеристики произведем по ней расчет зависимости магнитных потерь двигателя ДТК-820 от частоты вращения его якоря при номинальном напряжении, равном 1000 В. В качестве исходных данных будем использовать значения магнитных потерь, полученные для часовой частоты вращения якоря при проведении ква-

лификационных испытаний данного тягового электродвигателя.

Магнитные потери при нормальном поле в часовом режиме $\Delta P_{мч} = 9060$ Вт.

Часовая частота вращения якоря электродвигателя $n_{ч} = 920$ об/мин.

Частота перемагничивания якоря в часовом режиме $f_{ч} = 46$ Гц.

Значения $\Delta p_{м/50}$, соответствующие частоте 46 Гц, $\Delta p_{мч} = 1,06$ о.е.

Результаты расчета зависимости $\Delta P_{м} = f(n)$ для тягового электродвигателя ДТК-820 приведены в табл. 4.

Графически эта зависимость представлена на рис. 3 в виде непрерывной кривой. Отдельными маркерами на этом же рисунке показаны значения магнитных потерь, полученные в ре-

зультате квалификационных испытаний этого же электродвигателя. Приведенные данные получены для номинального значения напряже-

ния на тяговом двигателе и соответствуют трем различным режимам ослабления поля:

$$\beta_{\text{нп}} = 0,98; \quad \beta_{\text{оп1}} = 0,74; \quad \beta_{\text{оп2}} = 0,57.$$

Таблица 4

n , об/мин	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
ΔP_m , Вт	29460	16390	12030	9850	8550	7680	7050	6580	6220	5930

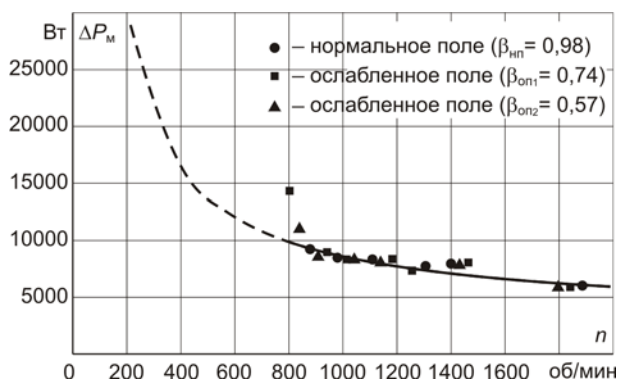


Рис. 3

Как видно из рис. 3, магнитные потери при постоянном напряжении практически не зависят от степени ослабления поля тягового двигателя. Совпадение данных эксперимента с результатами расчетов в диапазоне частот от 800 об/мин и выше практически полное. Плохое совпадение теоретических результатов и данных эксперимента наблюдается при частотах вращения, близких к 800 об/мин. Здесь необходимо отметить, что этим частотам при номинальном напряжении, для которого приведены данные, соответствуют значения тока якоря, намного превышающие часовой ток тягового двигателя. Участок кривой зависимости $\Delta P_m(n)$, соответствующий частотам вращения менее 800 об/мин, для номинального напряжения является фиктивным именно по причине нереально больших значений тока якоря. На рис. 3 этот участок показан пунктирной линией. При напряжениях, меньших номинального значения, этот участок универсальной характеристики будет реальным и может использоваться в расчетах магнитных потерь в тяговых электромашинах.

Проведенный анализ позволяет сделать выводы о том, что при постоянном напряжении на зажимах тягового электродвигателя потери от вихревых токов не зависят от частоты вращения якоря, а потери от гистерезиса – обратно

пропорциональны частоте его вращения. При этом потери на вихревые токи пропорциональны квадрату напряжения и не зависят от частоты вращения якоря, а потери на гистерезис пропорциональны квадрату напряжения при фиксированной частоте вращения якоря.

Данные выводы справедливы как для двигательного, так и для генераторного режима работы тяговых электромашин при любом режиме их возбуждения.

Результаты проведенного анализа могут быть использованы для определения магнитных потерь в тяговых электрических машинах при любых режимах их эксплуатации или испытаний.

Независимость величины магнитных потерь в тяговых электромашинах от способа их возбуждения обеспечивает адекватность результатов их тепловых испытаний на стендах взаимной нагрузки с использованием регуляторов ослабления поля [2]. Использование таких регуляторов, в свою очередь, позволяет при взаимной нагрузке испытуемых электромашин применять всего один источник электрической или механической мощности. Такие схемы имеют меньшую себестоимость и позволяют снизить расходы электроэнергии на испытания по сравнению с традиционными вариантами стендов взаимной нагрузки с использованием двух источников мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование тяговых электрических машин [Текст] / под ред. М. Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
2. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин [Текст] / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.

Поступила в редколлегию 15.01.2010.
Принята к печати 19.01.2010.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

У статті запропоновано експертні системи управління на базі синтезу знань, що дозволяє вибрати енергозберігаючі режими і мінімізувати перетоки потужності та втрати енергії в тягових мережах.

В статье предложены экспертные системы управления на базе синтеза эвристических и каузальных знаний, что позволяет выбрать энергосберегающие режимы и минимизировать перетоки мощности и потери энергии в тяговых сетях.

In the article the expert management systems on the base of synthesis of heuristic and causal knowledge are offered that allows choosing the energy-saving modes and minimizing the power flow-overs and energy losses in electric-traction networks.

Основой интеллектуализации управления режимами работы систем тягового электро-снабжения (СТЭ) являются экспертные системы (ЭС) [1 – 3]. Особый интерес вызывают ЭС, обладающие способностью автоматического приобретения каузальных и эвристических знаний [4]. В литературе такие ЭС называют самообучающимися или использующими механизм нечетного логического вывода. Перспективным направлением автоматического приобретения знаний является синтез эвристических знаний на основе использования каузальных и ретроспективных знаний.

Общая схема работы ЭС, совмещающей применение всех типов знаний, выглядит следующим образом. При обнаружении режима работы СТЭ с повышенными потерями энергии делается попытка его устранения при помощи эвристик. В случае успеха работа ЭС прекращается, в случае неудачи приводится в действие каузальный механизм вывода, который оформляется в виде эвристики и заносится в базу эвристических знаний. Очевидно, что при повторном возникновении этого же режима работы СТЭ он будет обработан при помощи этой эвристики, что более быстро и эффективно.

Таким образом, осуществляется синтез эвристик с помощью каузальных знаний. При этом такой синтез может быть осуществлен даже на этапе проектирования системы путем использования математической или имитационной модели поведения системы электроснабжения при возникновении различных ситуаций. В правильно построенной на основе описываемого принципа ЭС преобладает тенденция редкого применения каузального механизма вывода, что свидетельствует о повышении качества

накапливаемых этой ЭС эвристических знаний. Синтез эвристических знаний на основе использования ретроспективных знаний осуществляется на основе единицы ретроспективных знаний в экспертной системе – примера. Например, при эксплуатации электротяговых сетей каждый успешный случай минимизации электропотребления оператором оформляется в виде примера и вводится в базу ретроспективных знаний. Эта база является исходными данными для работы механизма синтеза эвристик, который и осуществляет их преобразование в форму продукций, сцепленных в дерево или хранимых в базе ЭС просто в виде совокупности. Такой процесс преобразования носит название индуктивного вывода.

Строки матрицы режимов СТЭ являются состояниями, характеризующими объекты СТЭ $X_i = (X_{i1}, \dots, X_{in})$ набором параметров x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, n$. Задача построения оптимальной классификации состоит в выборе группы параметров G_k , $k = 1, \dots, g$, и класса объектов T_{rk} , $r = 1, \dots, t_k$, в каждой G_k для пары элементов (G_k^*, T_{rk}^*) , на которой минимизируется заданный функционал $F(G, T)$ расстояний элементов от «центров» классов T_{rk} . В работах Землянова В. Б., Скалзуба В. В. предложены две формы правил продукций, которые можно использовать в ЭС оценки ситуаций и диагностики и минимизации перетоков мощности и потерь энергии в тяговой сети

$$IF[AND(N_k = g_r)] THEN[y_j \in N_F; (\bar{Y}_j, \sigma_j^2)];$$

$$IF AND_{k \in q^*} [OR_{j \in G_k} (x_{ij} \approx x_j^*)] THEN[(y_j \approx y^*)], \text{ где } g_r -$$

номера групп G_k с классами N_k , к которым могут быть отнесены параметры объектов СТЕ; $(\bar{Y}_j, \sigma_j^2)$ – средние значения и дисперсии переменных-заключений (в том числе опорных); N_F – выделенные финальные классы, или же классы, которые формируются предложенным ниже методом, использующим понятие направленности вероятностных зависимостей; AND и OR – знаки логических операций; знак « $\approx$ » показывает на «приблизительное равенство»; x_j^* , y_j^* – полученные из подтаблиц T_{kr} значения элементов БЗ; y_j – прогнозируемый параметр режима СТЕ для i -го объекта $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$.

Функционал качества классификации при этом будет иметь следующий вид:

$$F(G, T) = \frac{1}{N \cdot n} \sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^{t_r} [F_{rk}(G, T) * W_{rk}^{-1}] \Rightarrow \min_{(G, T) \in \pi},$$

где $F_{rk}(G, T)$ – некоторые меры рассеяния элементов T_{rk} , $W_{rk} = |G_r| \cdot |I_{rk}|$, I_{rk} – множество номеров объектов подматриц T_{rk} .

Можно выделить две схемы формирования правил продукций ЭС, учитывающих дополнительные источники информации о переменных.

По первой схеме правила продукций с учетом требований по заданию опорных переменных будут иметь вид:

$$(AND_{s \in q^*} [OR_{j \in G_s} (x_{ij} \approx x_j^*)] AND_{k \in K = \bigcup j_s} [(x_{ijk} \approx w_{jk}^*)]) \Rightarrow$$

$\Rightarrow [(y_{ijG} \approx w_{jG}^*)]$, где индексы « i » показывают характеристики « j_k » ситуации « i » при сравнении с заданными значениями w_{jk}^* ; индексы « k », « j_G » указывают номера заданных опорных переменных $k, j_G \in K = \bigcup j_s$, где номер j_G показывает прогнозируемую характеристику w_{jG}^* .

По второй схеме используется мера Журавлева ($Cl = 2$) и предлагается следующая форма правил:

$$AND_{s \in q^*} [OR_{j_k \in K} (x_{ijk}^s \approx w_{jk}^s), B(x_{(i)} : j_i \notin K) \geq B_*^s] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (y_{ijG} \approx w_{jG}^*),$$

где $j_i \notin K$ – совокупность переменных, определяющих исследуемый объект $x_{(i)} = \{x_{ijk}, x_{ij}\}$;

B_*^s – пороговые значения для сравнения близости объектов по переменным, составляющим группу G_s .

Обобщенная схема ЭС для реализации энергосберегающих технологий тягового электрооборудования железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем показана на рис. 1.

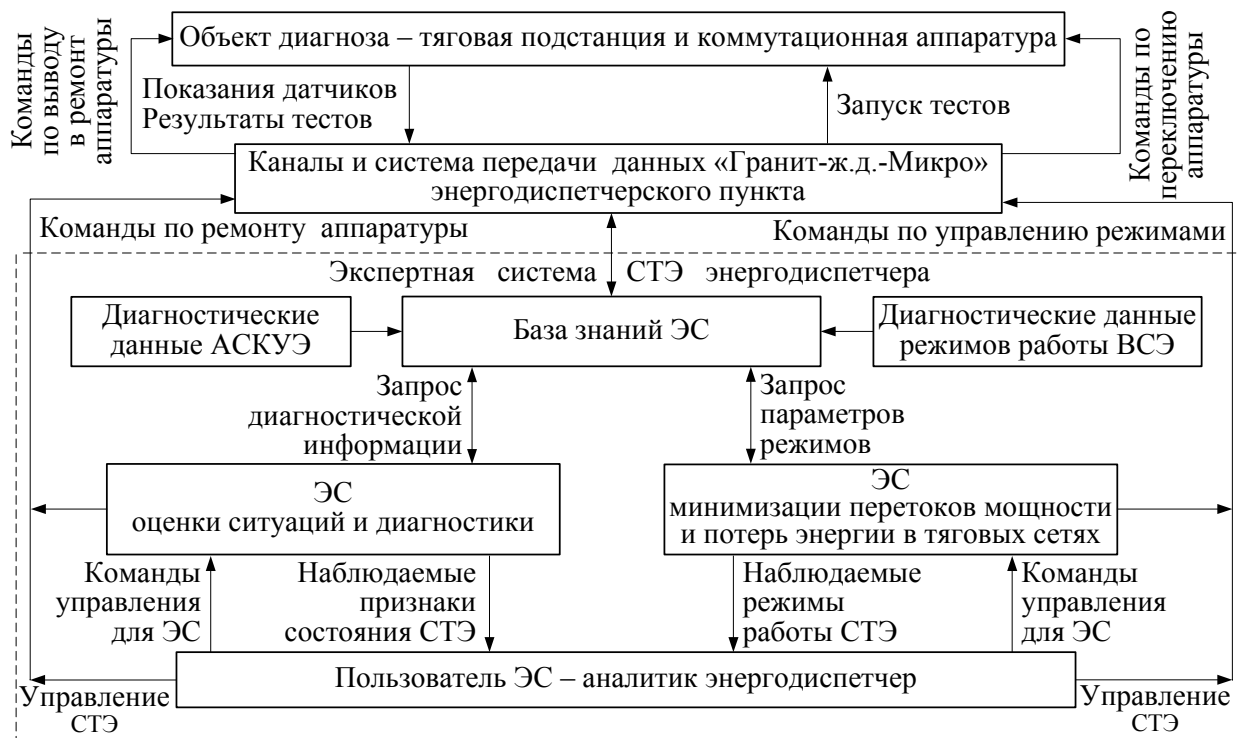


Рис. 1. Обобщенная схема экспертной системы

Проведенные исследования указывают на необходимость рассмотрения направлений, линий одной или нескольких дорог при анализе электропотребления для правильной оценки и выбора энергоэффективных режимов работы СТЭ. Снижение неравномерности электропотребления тяговых подстанций возможно за счет регулирования районной нагрузки, изменения уровня напряжений и создания искусственных перетоков, применения рациональных масс и интервалов между поездами при составлении годовых графиков движения поездов.

Заслуживают внимания два способа интенсификации перевозочного процесса: увеличение грузооборота путем применения тяжеловесного движения с сохранением количества пар поездов заданного направления и увеличение количества пар поездов с выбранными энергооптимальными весами поездов. Первый способ может быть эффективным за счет резкого снижения стоимости электроэнергии при пропуске тяжеловесных поездов в ночное время. Второй способ равномерно загружает тяго-

вые сети, что, безусловно, снижает потери энергии.

Естественно, что основополагающими критериями при этом являются мощность локомотива, коэффициент сцепления колеса с рельсом, пропускная способность участка. Однако в условиях рыночной экономики и дефицита энергоресурсов было бы интересно оценить интенсификацию перевозок по критерию потерь энергии в тяговой сети с учетом режимов работы внешней системы электроснабжения.

Имитационное моделирование осуществлялось для реальной фидерной зоны переменного тока с подвеской ПБСМ 70 + МФ 100, рельсами Р65, отношением времени хода поезда по времени его хода под током 1,2...1,8 по нечетному и 1...1,15 по четному пути, напряжением на шинах $27,5 \pm 1,5$ кВ. Параметры двух потоков поездов приведены в табл. 1. Интенсификация перевозок имитировалась путем замены поездов массой 4 тыс. т тяжеловесными поездами от 6 до 24 тыс. т.

Таблица 1

Количество поездов и их массы

Масса поезда, т	600	1000	1200	2000	2500	3000	3500	4000
N_1 – средний грузопоток, шт.	6/6	42/42	12/2	10/11	5/19	8/10	7/2	5/3
N_2 – интенсивный грузопоток, шт.	12/12	42/42	24/4	20/22	10/38	10/20	14/4	10/6

Примечание: в числителе – нечетное, в знаменателе – четное направление..

На рис. 2 показаны результаты решения одной из задач – прогноз изменения электропотребления и потерь энергии при различных грузопотоках.

По результатам эксперимента на имитационной модели получены зависимости активных и реактивных расходов и потерь энергии, про-

цента активных потерь $W_a = f(Q)$, $W_p = f(Q)$, $\Delta W_a = f(Q)$, $\Delta W_p = f(Q)$, $\delta = f(Q)$, а также средние и эффективные токи фидеров в зависимости от суммарной передвигаемой массы грузов по участку в четном и нечетном направлении за сутки (см. табл. 2).

Таблица 2

Значения средних и эффективных токов фидеров для узловой схемы

Средние и эффективные токи фидеров, А	Суточная суммарная масса поездов в четном и нечетном направлениях	
	Грузопоток 680 тыс. т	Грузопоток 700 тыс. т
I_{A1}	134,4 – j 97,3	128,9 – j 100
I_{A2}	60,9 – j 50,0	62,2 – j 55,5
I_{B1}	126,74 – j 105,6	130,6 – j 110,8
I_{B2}	65,4 – j 55,7	77,0 – j 66,8
$I_{A\Omega 1}$	318,5	186,3
$I_{A\Omega 2}$	114,7	96,8
$I_{B\Omega 1}$	335,1	202,4
$I_{B\Omega 2}$	149,7	122,2

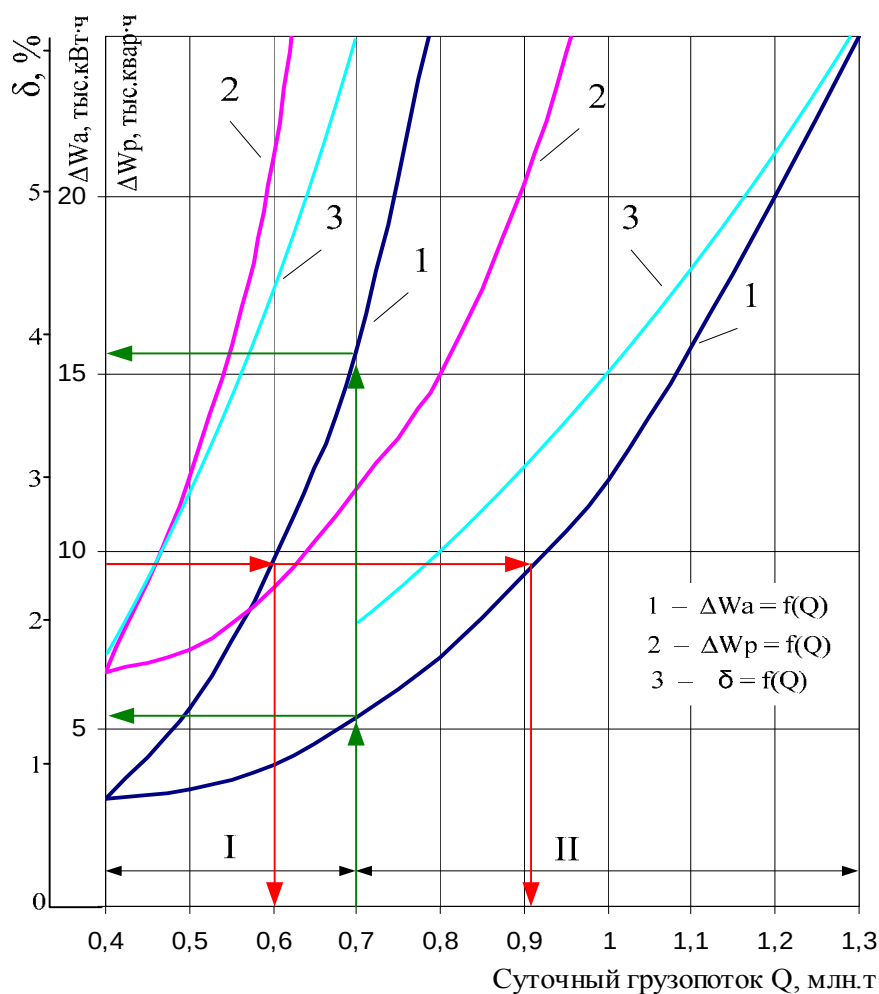


Рис. 2. Суточные потери энергии и процент потерь при изменении грузопотока на двухпутном участке переменного тока

Увеличение перевозимой по двухпутному участку массы с 400 тыс. т до 700 тыс. т в сутки при различных способах реализации графика движения поездов и интенсификации их веса приводит к существенно разным потерям энергии. При ритмичном графике и соответствующих типах поездов потери энергии снижаются минимум в 3 раза.

Предельные возможности системы электропитания переменного тока 25 кВ обеспечивают суточный грузопоток на двухпутном участке до 1200 тыс. т. Применение же схем параллельного соединения контактных подвесок при интенсификации перевозок позволит уменьшить активные потери энергии на 8...15 %, а реактивные – на 7...11 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лорьер, Ж. Системы искусственного интеллекта [Текст] / Ж. Лорьер. – М.: Мир, 1991. – 586 с.
2. Таунсенд, К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ [Текст] / К. Таунсенд, Д. Фохт : [пер. с англ.]. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
3. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия, 2004.
4. Землянов, В. Б. Енергооптимальні технології аналізу та регулювання електроспоживання на тягу поїздів [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 / Дніпропетр. держ. техн. ун-т заліз. трансп. – Д., 2000. – 20 с.

Поступила в редколлегию 09.09.2009.

Принята к печати 21.10.2009.

НОВА СХЕМА ЗАХИСТУ ДВИГУНА КОМПРЕСОРА НА ЕЛЕКТРОПОЇЗДАХ СЕРІЇ ЕР2

Запропоновано нову схему захисту двигуна ДК 409 (ДК 406) компресора (ЕК 7Б) на електропоїздах серії ЕР2. Така схема забезпечує чіткий і надійний захист електричної машини, поєднує в собі функції захисту як при перевантаженні тривалими струмами, так й у випадку К.З.

Предложена новая схема защиты двигателя ДК 409 (ДК 406) компрессора (ЭК 7Б) на электропоездах серии ЭР2. Такая схема обеспечивает четкую и надежную защиту электрической машины, объединяет в себе функции защиты как при перегрузках длительными токами, так и в случае К.З.

The new scheme of protection of the engine ДК 409 (ДК 406) of the compressor (ЭК 7Б) on electric trains of series ЭР2 is offered. Such a scheme provides accurate and reliable protection of the electric machine, unites in itself the protection functions both under overloads with long-term currents and in case of short-circuit.

Описано запропоновану систему захисту електродвигунів компресорів на електропоїздах серії ЕР2 на сучасній елементній базі, яка більш надійно захищає ізоляцію якірної обмотки двигуна від перегрівання при перевантаженні по струму порівняно з типовою схемою захисту на базі теплових електромагнітних реле. Типова схема захисту електродвигунів компресорів на електропоїзді ЕР2 [1, 2] наведена на рис. 1.

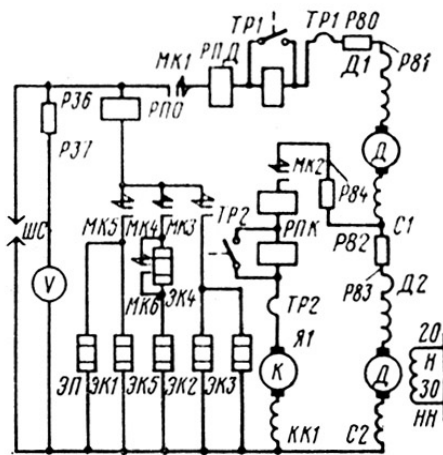


Рис. 1. Типова схема захисту електродвигунів компресорів на електропоїзді ЕР2

Від середньої точки С1 дільника напруги через демпферний резистор Р82-Р84, контактор МК2, реле перевантаження РПК, теплове реле ТР2 отримує живлення двигун компресора.

Допоміжні машини захищені від перевантаження і коротких замикань за допомогою реле перевантаження і контакторів МК1, МК2. Струм уставки реле перевантаження більше найбільшого пускового, який може виникнути в процесі пуску при найбільшій напрузі в контак-

тній мережі. Реле перевантаження не забезпечує захист від тривалих струмів перевантаження, менших від струмів уставки. Тому система захисту доповнена тепловими самовідновлювальними реле ТР1 і ТР2, контакти яких при цьому розмикаються і вводять в коло другу секцію котушки РПД. Загальна кількість діючих витків котушки реле перевантаження в цьому випадкові збільшується і його струм уставки знижується. Кола котушок реле РПД і РПК залишаються розімкненими до тих пір, поки машиніст не ввімкне відповідну кнопку «Возврат реле».

Недоліком типової схеми захисту є нечітке і ненадійне спрацювання теплових реле ТР2 (типу ТРК-8,5), з одного боку, і можливість перегріву ізоляції обмоток якоря при певних умовах, з другого боку. Реле ТРК-8,5 дає команду на розмикання кола живлення двигуна компресора, якщо через нього протікає струм 12...15 А. При струмі 12 А теплове реле спрацьовує через 60 с, при струмі 30 А – через 2,5 с. За певних умов пуску компресора (наявність суттєвого нагріву ізоляції під час попередніх пусків, досить низька температура навколишнього середовища тощо) ізоляція класу В, яка застосовується у двигунах типу ДК-409 (ДК-406) може перегрітись більше встановленої температури перегріву (140 °С по якорю), що призводить до суттєвого зменшення терміну служби вказаних двигунів.

Сучасна елементна база дозволяє розробити захист, який забезпечує відключення електродвигуна при його перевантаженні за будь-який малий проміжок часу. Це сприяє тому, що ізоляція перегріватись не буде. Структурна схема пропонованого пристрою захисту показана на рис. 2.

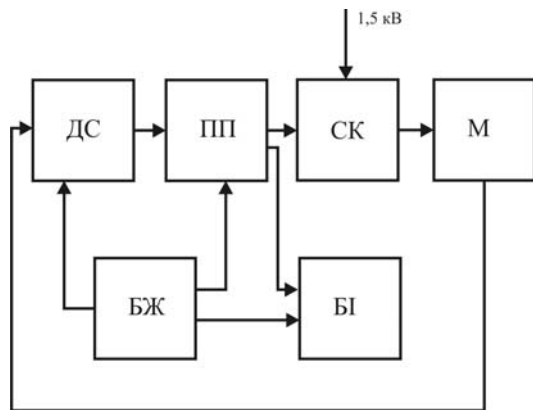


Рис. 2. Структурна схема пристрою захисту двигуна компресора

До складу структурної схеми (рис. 2) входить: датчик струму (ДС), пристрій порівняння (ПП), силовий ключ (СК) і електродвигун компресора (М). Датчик струму перетворює струм силового кола в напругу, що надалі використається для порівняння з табличними значеннями апроксимації. Пристрій порівняння призначений для визначення граничних режимів роботи захисту в цілому:

1. перевантаження по максимальному струмі – максимальний захист;
2. перевантаження тривалим струмом – тепловий захист.

Електроживлення виробляється за допомогою блоку живлення (БЖ). Блок індикації (БІ) призначений для сигналізації режимів роботи блоку живлення та пристроїв порівняння. Датчик струму повинен забезпечити гальванічну розв'язку силових кіл та кіл керування. Силовий ключ забезпечує відпрацьовування керуючого сигналу, який поступає від вузла порівняння, тобто у випадку спрацьовування за граничним режимом (максимальний або тепловий захист). Силовий ключ відключає мотор-компресор від живлячої напруги.

До складу функціональної схеми (рис. 3) входить: двигун постійного струму (М), що є приводним для поршневого компресора. Двигун М системи «мотор-компресор» підключено на напругу 1,5 кВ, що знімається з дільника через контакти МК2.1. Контактір МК2 являє собою електромагнітний апарат, котушка якого живиться від бортової мережі напругою +50 В.

Датчик струму включається послідовно із двигуном компресора в силове коло. Датчик струму побудований на ефекті Хола. Сигнал, що знімаємо з датчика струму, надходить на вхід пристрою порівняння. Джерело живлення, одержує живлення від бортової мережі +50 В та забезпечує подачу напруги живлення на датчик

струму +15 В и -15 В, а також живить блок індикації.

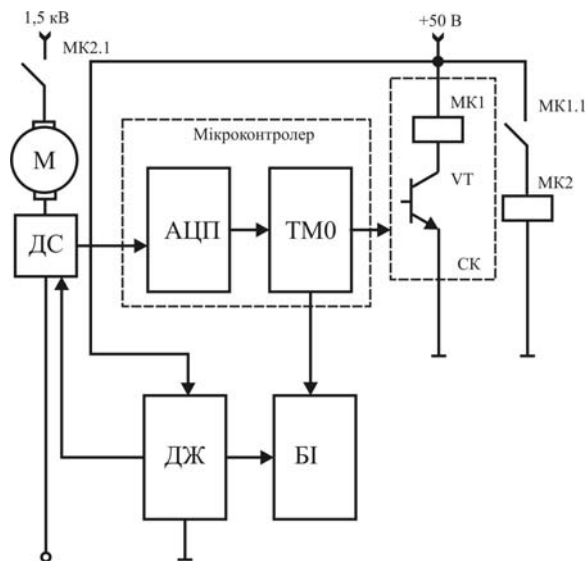


Рис. 3. Функціональна схема пристрою захисту системи «мотор-компресор»

Блок індикації в розглянутій схемі виступає як елемент, що сигналізує про стабільне живлення схеми у цілому, та сигнализують режими роботи «перегрів» й «перевантаження», крім того напруга +50 В подається на силовий ключ СК. Силовий ключ СК складається з біполярного транзистора *n-p-n* типу й котушки малопотужного електромагнітного реле. Контакти цього реле живлять котушку електромагнітного контактора МК2.

Датчик струму виробляє сигнал у вигляді напруги, прямо пропорційній струму в колі якоря двигуна компресора. Цей сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який входить до складу сучасного мікроконтролера PIC12F629 фірми Microchip [3]. Після обробки аналогового сигналу мікроконтролер робить порівняння цього отриманого коду цього сигналу з табличними значеннями, які занесені у його постійний запам'ятовуючий пристрій. У випадку, якщо струм у колі якоря перевищує 35 А, компаратор мікроконтролера «визначає» цю ситуацію й віддає команду силовому ключу розірвати коло живлення МК2, тобто двигун компресора буде знеструмлений. Якщо ж струм, що протікає, менше 35 А, але більше 12 А, в роботу вступає алгоритм відпрацьовування теплового реле, що реалізується за допомогою таймера (ТМО).

Принципова схема пропонованого пристрою захисту наведена на рис. 4. Уніфікований блок захисту призначений для захисту допоміжних машин електропоїзда ЕР2 в режимах перевантаження тривалим струмом та струмом К.З.

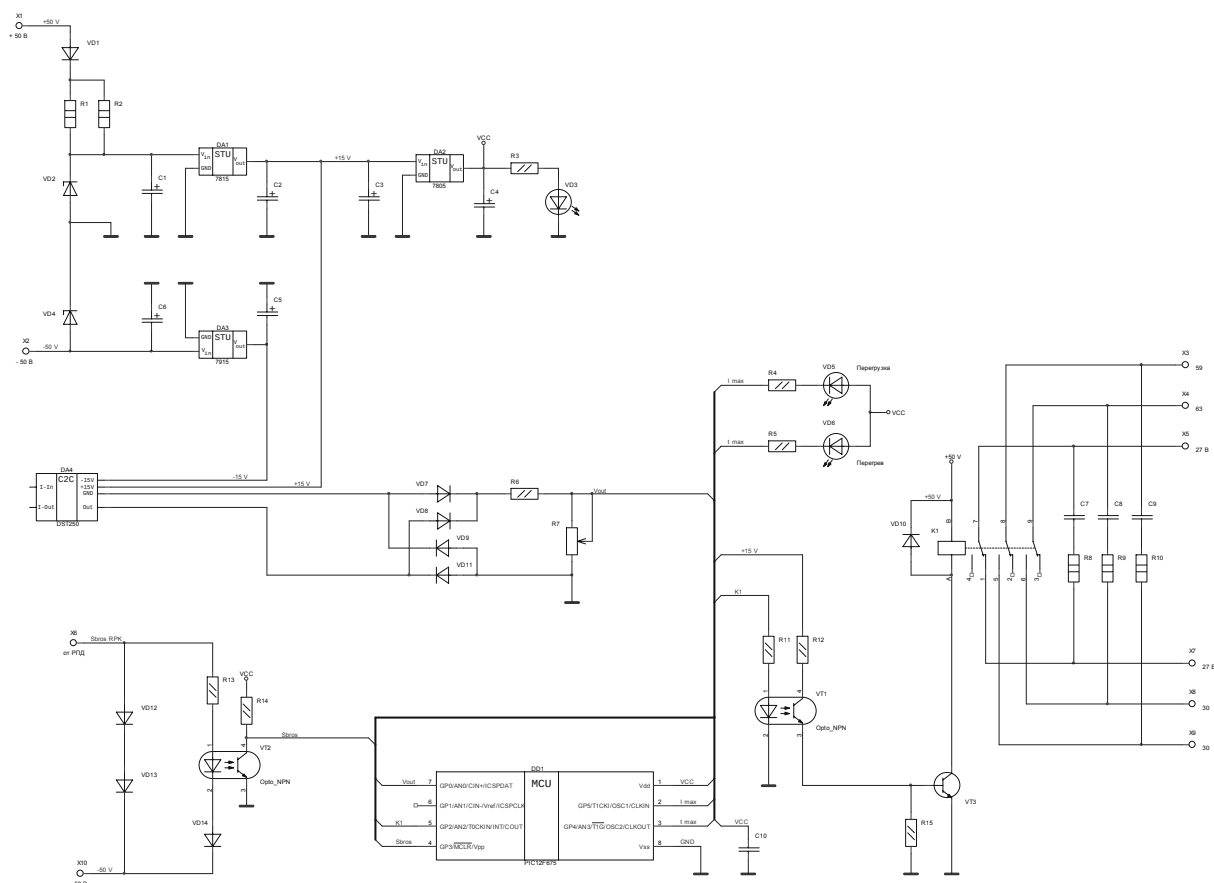


Рис. 4. Принципова схема уніфікованого блоку захисту двигуна компресора

Уніфікований блок захисту заміняє собою два захисних реле якірного кола мотор-компресора: реле перевантаження компресора РПК типу Р-103 (з механізмом повернення Р-102) і теплового реле ТР2 типу ТРВ-8,5.

Відмітимо, що реле РПК та ТР2, які здійснюють захист кола якоря двигуна компресора відповідно від струмів К.З. та струмів перевантаження, за конструкцією є електромеханічними пристроями.

Реле РПК складається із двох частин: високовольтної (реле типу Р-103), яка контролює струм перевантаження, та низьковольтної (реле типу Р-102), яка виконує функції механізму повернення. Обидві частини працюють у сполученні одна з одною по виконанню своїх функцій. Реле Р-103 являє собою конструкцію клапанного типу, на магнітопроводі якого встановлено силову котушку, ввімкнену послідовно із електричним колом, яке захищається. Ізоляційна планка, яка закріплена на якорі й розрахована на повну напругу силового кола (1,5 кВ), діє на низьковольтну частину. При проходженні по силовій котушці струмів перевантаження якорь реле притягується до осердя, планка вдаряє по упору та повертає валик механізму повернення. Валик, повертаючись, визволяє від зачіпки якоря

низьковольтного реле, на якому закріплені блок-контакти. Відбувається їх замикання або розмикання. При виключенні струму у силовому колі якорь реле Р-103 відпадає та займає вихідне положення. Для відновлення реле достатньо короткочасно подати напругу на його котушку. При цьому якорь притягується та запирає зачіпку. У верхній частині панелі біля кожного реле знаходиться прапорець-сигналізатор, який при спрацюванні реле виходить із зачеплення та опускається. Регулювання уставки реле здійснюється зміною натягу пружини з допомогою регулювальних гайки та гвинта.

Теплове реле ТР2 (типу ТР-8,5) має звичайну для теплових реле (на базі біметалічної пластини) конструкцію.

Недоліки вказаних пристроїв очевидні: багато складових частин, які переміщуються; значні габарити, вага, а саме головне, з точки зору захисту електричних кіл від перевантажень та перегріву ізоляції, – відносно великий час спрацювання.

Тому пропонується уніфікований блок захисту на сучасній напівпровідниковій елементній базі, який виконує вищевказані функції реле РПК та ТР2, але не має вказаних недоліків, а головне – значно збільшує швидкодію захисту.

Основними елементами запропонованого блоку захисту є: DA4 – датчик струму типу ДСТ-250, що представляє перетворювач «струм–струм»; мікроконтролер DD1, призначений для обробки інформації, що надходить з датчика струму, і прийняття рішення по відключенню контактора МК2, через контакти якого отримує живлення двигун компресора М.

Розглянемо принцип дії представленого блоку захисту.

Контрольований струм, що протікає по якорю електродвигуна М, протікає по первинному колу датчика струму DA2. З виходу датчика струму струм надходить на дільник R6-R7, а потім на вхід аналого-цифрового перетворювача, вбудованого в мікроконтролер DD1.

Мікроконтролер контролює значення струму якоря двигуна компресора й відключає його від живлячої напруги в наступних випадках:

1. при перевантаженнях по струму (більше 35 А) – аналог реле перевантаження Р103;
2. при тривалому протіканні струмів більше номінального – аналог теплового реле ТРВ-8,5.

У першому випадку при відключенні контактора МК2 засвітиться червоний світлодіод VD5 «К.З.». У другому випадку (перевантаження) засвітиться червоний світлодіод VD6 «Перегрів».

Блок захисту після спрацювання по перевантаженню повертається в первісне положення (МК2 включений) шляхом натискання кнопки «РПК повернення», яка є штатною і знаходиться на боковій поверхні підвагонної шафи керування. Для забезпечення гальванічного розв'язання кола кнопки «РПК повернення» та кіл мікроконтролера використовується транзисторна оптопара VT2.

Після спрацювання захисту та натиснення кнопки «РПК повернення», блок повертається у вихідний стан через 60 с після спрацювання. Даний часовий інтервал відповідає часу повернення теплового реле РТВ-8,5.

Напруга живлення блоку захисту подається на клеми Х1-Х2. Діод VD1 призначений для виключення переполюсовки напруги живлення. Про наявність живлячої напруги на блоці вказує світлодіод VD3. Стабілізація напруги живлення на рівні +15 В здійснюється елементами C1, DA1, C2; на рівні –15 В: C6, DA3, C5; на рівні +5В: C3, DA2, C4.

Елементи R11, R12, VT1, R15, VT3, K1, VD10 призначені для ввімкнення контактора МК2.

Працездатність уніфікованого блоку захисту перевірено в умовах реальної експлуатації на електропоїзді ЕР2, приписаного до локомотивного депо ТЧ8 Придніпровської залізниці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Электropоезда постоянного тока [Текст] / П. В. Цукало и др. – М.: Транспорт, 1979. – 415 с.
2. Цукало, П. В. Электropоезда ЭР2 и ЭР2Р [Текст] / П. В. Цукало, Н. Г. Ерошкин. – М.: Транспорт, 1986. – 359 с.
3. Однокристалльные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры компании Microchip Technology Incorporated: PIC 16F873, PIC 16F874, PIC 16F876, PIC 16F877 [Текст]. – М.: ООО «Микро-Чип», 2002. – 183 с.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 18.01.2010.

АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ЕМКОСТНЫХ ЭНЕРГОНАКОПИТЕЛЕЙ

Запропоновано систему акумулювання енергії гальмування електрифікованого транспорту за допомогою ємнісних накопичувачів з одночасним розвантаженням мережі від неактивних складових повної потужності й стабілізацією напруги на навантаженні.

Предложена система аккумуляции энергии торможения электрифицированного транспорта с помощью емкостных накопителей с одновременной разгрузкой сети от неактивных составляющих полной мощности и стабилизацией напряжения на нагрузке.

The accumulation system of braking energy for the electrified transport by means of capacity storage batteries with the simultaneous unloading of network from the inactive constituents of total power and stabilizing of voltage on loading is offered.

Введение

Проблема энергосбережения и повышения качества электроэнергии в сетях переменного напряжения с тяговыми трансформаторными подстанциями с однонаправленным преобразователем энергии является наиболее актуальной в электроэнергетике.

Электрифицированный транспорт (промышленные электровагоны, эскалаторы метро, трамваи, троллейбусы и т.д.) характеризуются неравномерным графиком потребления электроэнергии, которое особенно значительно в периоды разгона, менее значительно в периоды равномерного движения и отсутствует при торможении. Вследствие этого тяговые подстанции (ТП) непрерывно испытывают значительные колебания нагрузки. При пиковых нагрузках, возникающих при наложении пусковых токов нескольких тяговых средств, снижается напряжение на шинах ТП. Это замедляет процессы пусков электрического транспорта и приводит к дополнительным потерям электроэнергии. В результате чего требуется увеличение установленной мощности силового оборудования ТП для компенсации пиковых нагрузок.

В настоящее время запасенная во время движения тяговых средств кинетическая энергия движущихся масс не рекупируется в сеть в процессе торможения, а выделяется в виде тепла в тормозных резисторах. Кроме того, в смешанных системах энергоснабжения, имеющих линии постоянного и переменного тока (например, объединенные сети коммунального

хозяйства и городского электрифицированного транспорта), актуальным является также повышение качества энергии.

Цель работы

В данной работе предлагается система аккумуляции энергии торможения электрифицированного транспорта с помощью емкостных накопителей с одновременной быстрой и точной разгрузкой сети от неактивных составляющих полной мощности и стабилизацией напряжения на нагрузке с помощью АИН с ШИМ, управляемых по мгновенным значениям реактивной мощности. Как следствие, при этом повышается качество электроэнергии, улучшается электромагнитная совместимость различных потребителей с динамической реактивной, нелинейной и несимметричной нагрузкой.

Материалы и результаты исследования

В процессе торможения тяговые двигатели переводят в генераторный режим. При этом кинетическая энергия преобразуется в электрическую, которая на тормозных резисторах преобразуется в тепло и рассеивается в окружающую среду. Принято считать, что эти потери могут составлять до 50 % всей потребляемой из контактной сети электрической энергии. Следовательно, экономия электрической энергии на электрическом транспорте возможна за счет полезного использования энергии торможения.

Решение этой проблемы возможно как использованием режима рекуперации, так и утилизацией энергии торможения. Основным за-

труднением использования режима рекуперативного торможения является не преобразование кинетической энергии в электрическую и возврат ее в контактную сеть, а способность сети принять эту дополнительную энергию. Это возможно при потреблении энергии из сети другими транспортными средствами в режиме тяги или путем передачи ее в трехфазную сеть переменного тока. Для этого необходимо преобразовывать постоянное напряжение в трехфазное переменное, синхронизированное с сетью по частоте и амплитуде.

Все указанные недостатки можно устранить, оснастив тяговые подстанции емкостными энергонакопителями [1], которые принимали бы избыточную энергию торможения с последующим возвратом ее в контактную сеть при пуске и разгоне поездов (рис. 1).

Для управления качеством энергии целесообразно использовать преобразователи напряжения с двухсторонней проводимостью, управ-

ляемые по мгновенным значениям неактивных составляющих полной мощности (рис. 2).

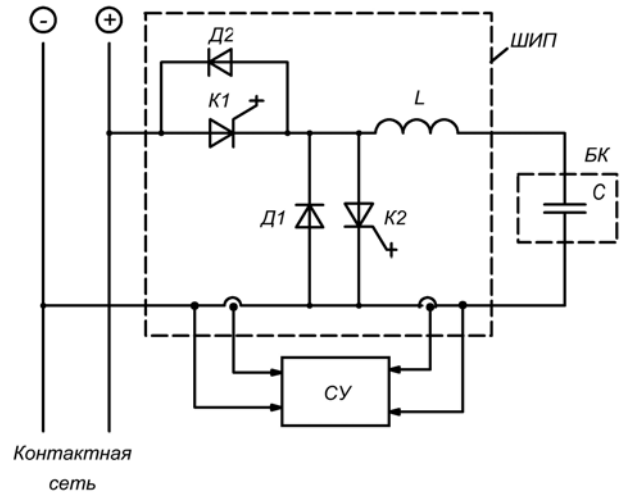


Рис. 1. Функциональная схема аккумулирования энергии рекуперации на тяговых подстанциях

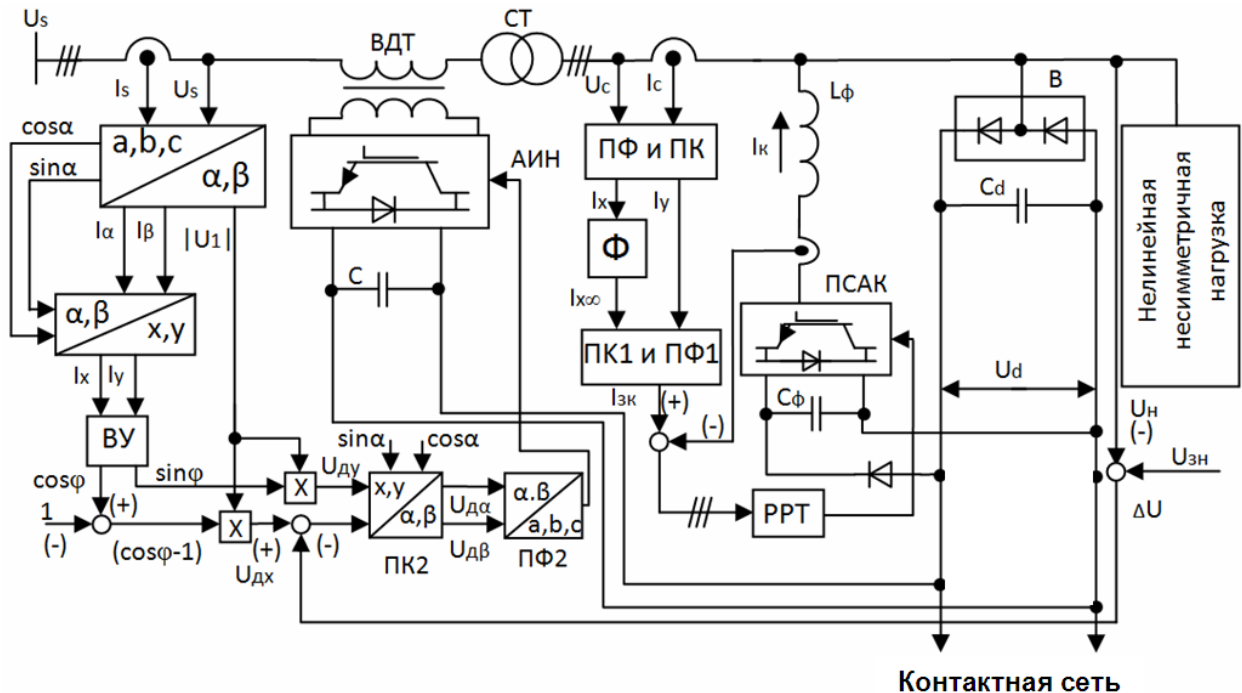


Рис. 2. Функциональная схема управления качеством электроэнергии тяговых подстанций

Основными элементами системы аккумулирования энергии рекуперативного торможения с емкостными накопителями (рис. 1) являются батарея накопительных конденсаторов (БК), реверсивный по току широтно-импульсный преобразователь (ШИП) с различными коэффициентами передачи, система управления (СУ) с датчиками тока и напряжения на входе и выходе преобразователя.

В схеме рис.1 предусмотрен управляемый заряд конденсаторной батареи, что существен-

но снижает потери энергии. Подключение конденсаторной батареи к контактной сети и ее подзарядка осуществляется автоматически при достижении на ее шинах уровня напряжения несколько большего, чем максимальное выпрямленное напряжение. Управляемый заряд конденсаторной батареи реализуется методом широтно-импульсной модуляции, путем коммутации ключа K1 (рис. 1). При включении K1 на выходе формируется положительный импульс напряжения. При выключении K1 энер-

гия, запасенная в индуктивности фильтра, через Д1, который включается в режим нулевого вентили, передается в накопитель.

Возврат энергии, запасенной в емкостном накопителе, в контактную сеть происходит при снижении напряжения на шинах контактной сети ниже предельного значения. Передача энергии из емкостного накопителя в контактную сеть реализуется коммутацией ключа К2. Причем возврат энергии в сеть реализуется с коэффициентом преобразования, большим единицы. Это обеспечивается разделением во времени процессов накопления энергии в индуктивности при замкнутом К2 и передачей ее в контактную сеть через диод Д2 при размыкании К2. В результате чего к шинам контактной сети прикладывается суммарное напряжение конденсаторной батареи и ЭДС самоиндукции фильтра. Это позволяет передавать энергию от конденсаторной батареи при напряжении на ней значительно ниже, чем в контактной сети (конденсаторная батарея разряжается до определенного уровня напряжения). Этим существенно повышается эффективность использования энергии емкостных накопителей, отдаваемая энергия которых в процессе разряда определяется как

$$W = \frac{C \cdot (U_{\text{нач}} - U_{\text{кон}})^2}{2}, \quad (1)$$

где $U_{\text{нач}}$, $U_{\text{кон}}$ – начальное и конечное значения напряжения на емкости при ее разряде; C – емкость конденсаторной батареи.

В настоящее время для регулирования напряжения на высокой стороне силового трансформатора тяговой подстанции применяют трехфазные линейные регуляторы [2, 3], которые содержат вольтдобавочный трансформатор (ВТД) с механическим переключателем устройством. Для компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник используются фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ), которые настраиваются на частоту соответствующей высшей гармоники тока. Такие ФКУ являются громоздкими и недостаточно эффективными, т.к. вследствие отклонений их реальных параметров от расчетных нарушаются условия резонанса токов. При сложном гармоническом спектре тока использование ФКУ является неэффективным [4]. Трансформаторно-вентильные компенсаторы реактивной энергии сети со стабилизацией напряжения на нагрузке комплектных трансформаторных подстанций [5] устраняют некоторые недостатки, но не позволяют симметризовать токи нагрузки и не

обеспечивают качественную синусоидальность их формы, что вызывает дополнительные потери в трансформаторах и сети [6].

В работе предлагается техническое решение, объединяющее функциональные возможности устройств [7, 8], для реализации компенсации реактивной мощности сети, фильтрации высших гармоник тока, симметрирования нагрузки с одновременной стабилизацией напряжения трансформаторной подстанции. Решение этой проблемы реализуется плавным регулированием в широких пределах амплитуды и фазы напряжения ВДТ с помощью АИН с ШИМ. Второй такой инвертор напряжения, входящий в состав параллельного силового активного компенсатора (ПСАК), используется для компенсации неактивных составляющих полной мощности (мощности сдвига, искажения и несимметрии). Управляющий параметр обоих инверторов напряжения (рис. 2) формируется с использованием мгновенных значений неактивных составляющих токов, подлежащих компенсации, контролируемых на высокой и низкой сторонах силового трансформатора (СТ) тяговой подстанции.

В общем случае при отсутствии нулевых составляющих мгновенное значение мощности определяется как скалярное произведение результирующего пространственного вектора напряжения сети $\bar{U}$ и сопряженного вектора тока $\bar{I}^*$ [9]:

$$p = \frac{2}{3} [\bar{U} \bar{I}^*], \quad (2)$$

$$\bar{I}^* = \frac{2}{3} (i_A + \bar{\alpha}^2 i_B + \bar{\alpha} i_C), \quad (3)$$

где $\bar{U} = \frac{2}{3} (u_A + \bar{\alpha} u_B + \bar{\alpha}^2 u_C) = U_\alpha + j U_\beta$; $2/3$ – согласующий коэффициент, найденный из условия инвариантности мощности; u_A, u_B, u_C – мгновенные значения напряжений; $\bar{\alpha} = e^{j120^\circ}$, $\bar{\alpha}^2 = e^{j240^\circ}$ – единичные векторы поворота соответственно на 120° и 240° ; U_α, U_β – проекции результирующего вектора на неподвижную систему координат α, β , вещественная ось α которой совмещена с вектором напряжения фазы А.

Преобразование трехфазной системы A, B, C в двухфазную α, β производится с помощью матричного соотношения [9]

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Обратный переход реализуется с помощью соотношений;

$$\begin{aligned} u_A &= U_\alpha; \\ u_B &= -0.5U_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}U_\beta; \\ u_C &= -0.5U_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}U_\beta. \end{aligned} \quad (5)$$

В неподвижной системе координат α, β выражения для мгновенной мощности, представленные в виде постоянной и переменной составляющих, записываются как

$$\begin{bmatrix} p = P + p_{\sim} \\ q = Q + q_{\sim} \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} U_\alpha & U_\beta \\ U_\beta & -U_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}. \quad (6)$$

При переходе к вращающейся системе координат x, y , ось x которой совпадает с результирующим вектором напряжения сети, выражение (6) принимает вид (теория мгновенной мощности I_x, I_y):

$$p = P + p_{\sim} = \frac{3}{2}U I_x; \quad q = Q + q_{\sim} = \frac{3}{2}U I_y, \quad (7)$$

где I_x, I_y – проекции результирующего вектора тока на оси x, y ; U – модуль результирующего вектора напряжения сети, равный амплитудному значению фазного напряжения.

Существенно, что в симметричных линейных системах компоненты I_x, I_y не содержат переменных составляющих. В случае нелинейных и несимметричных систем в обеих ортогональных проекциях появляются переменные составляющие, пропорциональные мощности искажения и несимметрии.

Таким образом, в синхронно вращающейся системе координат, ориентированной по вектору напряжения сети, трехфазная синусоидальная система токов представляется неподвижным вектором с постоянными (фиксированными) проекциями на оси x, y , постоянные составляющие которых пропорциональны соответственно активной и реактивной мощности. Это значительно упрощает выделение (идентификацию) и непрерывный контроль

мгновенных значений неактивной мощности. Такое представление трехфазной системы также значительно упрощает построение замкнутых систем управления качеством электроэнергии и реализацию регуляторов, работающих с сигналами постоянного тока, а не переменного.

На основании приведенных зависимостей реализуется управление замкнутой автоматической системой амплитудно-фазового регулирования напряжения ВДТ для компенсации реактивной мощности сети и стабилизации напряжения тяговой подстанции. В схеме рис. 2 АИН с ШИМ подключен непосредственно на постоянное напряжение тяговой сети. Плавное регулирование потребляемой или генерируемой энергии реализуется отстающим или опережающим регулированием фазы напряжения вторичной обмотки ВДТ. Т.к. регулирование напряжения тяговой сети реализуется на стороне переменного тока, то вентильный блок тяговой подстанции может быть выполнен нерегулируемым, который по отношению к сети обладает практически активным сопротивлением (без учета углов коммутации), а пульсации выпрямленного напряжения существенно ниже, чем в регулируемом вентильном блоке. Минимизация гармоник, генерируемых данным выпрямителем и другими нелинейными потребителями, реализуется с помощью ПСАК (рис. 2) [8].

Преобразователи фаз ПФ и координат ПК, реализованные на основании приведенных выражений, предназначены для прямого и обратного перехода от трехфазной системы A, B, C к двухфазной α, β .

Пространственное положение результирующего вектора $\bar{U}_S$ напряжения сети реализуется на основании выражений:

$$\cos \alpha = \frac{U_{S\alpha}}{U_S}; \quad \sin \alpha = \frac{U_{S\beta}}{U_S}, \quad (8)$$

где $U_S, U_{S\alpha}, U_{S\beta}$ – модуль и проекции обобщенного пространственного вектора $\bar{U}_S$ на оси α, β .

Фазовый сдвиг между векторами напряжения и тока первичной обмотки силового трансформатора вычисляется с помощью вычислительного устройства (ВУ) согласно соотношениям:

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_x}{I}; \quad \sin \varphi_1 = \frac{I_y}{I}, \quad (9)$$

где I, I_x, I_y – модуль и ортогональные составляющие вектора тока в синхронно вращающейся системе координат, ориентированной по вектору напряжения $\bar{U}_S$.

Переход от неподвижной системы координат к вращающейся и обратно реализуется с помощью преобразователей координат ПК на основании выражения, записанного, например, для напряжения сети

$$\begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где α – угол между координатными осями неподвижной и вращающейся систем координат.

Согласно обозначениям, принятым на векторной диаграмме рис. 3, ортогональные составляющие напряжения первичной обмотки ВДТ во вращающейся системе координат и его модуль при полной компенсации реактивной мощности сети определяются как

$$\begin{aligned} U_{Dy} &= U_S \sin \varphi_1; \\ U_{Dx} &= U_S (\cos \varphi_1 - 1); \\ U_D &= \sqrt{U_{Dx}^2 + U_{Dy}^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Указанные составляющие напряжения после преобразования из вращающейся системы в неподвижную с помощью ПК2 и преобразования фаз с помощью ПФ2 поступают в виде трехфазных синусоидальных управляющих (задающих) воздействий на вход АИН с ШИМ. Амплитудное значение выходного напряжения АИН (напряжение вторичной обмотки ВДТ) составляет при синусоидальной ШИМ

$$U_{2D} = 0,5mU_d = 0,5mK_{cx}U_{1\phi}/K_{тр}, \quad (12)$$

где $m = U_{зад}/U_{оп}$ – коэффициент модуляции; $U_{зад}, U_{оп}$ – напряжение задания и опорное; $K_{cx} = 2,34$ – коэффициент схемы трехфазного мостового выпрямителя; $U_{1\phi}, K_{тр}$ – фазное напряжение первичной обмотки силового трансформатора и его коэффициент трансформации.

Из совместного решения (11) и (12) с учетом, что модуль результирующего вектора напряжения равен амплитуде его фазного напряжения, находится требуемое значение коэффициента трансформации ВДТ:

$$K_{BD} = \frac{U_{1D}}{U_{2D}} = \frac{K_{тр} \sqrt{2(1 - \cos \varphi_1)}}{0,5mK_{cx}}. \quad (13)$$

Приведенные соотношения и векторная диаграмма рис. 3 показывают, что плавное регулирование генерируемой или потребляемой реактивной мощности, а также переход из одного режима в другой реализуется путем опережающего или отстающего регулирования величины и фазы напряжения ВДТ по отношению к напряжению сети в функции ее реактивной мощности. В режиме генерации реактивной мощности осуществляется опережающее регулирование фазы напряжения ВДТ, а в режиме потребления – отстающее.

Для стабилизации постоянного напряжения тяговой сети в систему регулирования вводится также корректирующий сигнал $\Delta U = U_{3d} - U_d$, пропорциональный отклонению напряжения тяговой сети U_d от заданного значения U_{3d} . Этот сигнал алгебраически суммируется с компонентой U_{dx} напряжения ВДТ по оси x , стабилизируя напряжение тяговой сети.

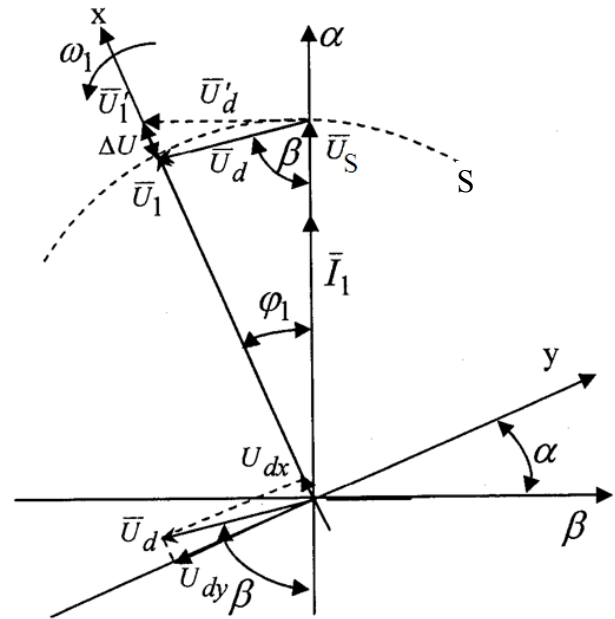


Рис. 3. Векторная диаграмма формирования напряжения ВДТ для компенсации реактивной мощности сети и стабилизации напряжения тяговой сети

Сочетание плавности генерации и потребления реактивной мощности с высоким быстродействием делает предлагаемую систему эффективным средством воздействия на режим трансформаторной подстанции тяговой сети.

Компенсация неактивных составляющих мощности на низкой стороне (включая симметрирование нагрузки) изложены в [8].

Выводы

Регулируя величину и фазу вектора напряжения ВДТ, можно обеспечить требуемую ориентацию вектора тока сети по отношению к вектору напряжения. Если при этом реализовать указанный сдвиг, например, равным нулю, то в сеть генерируется реактивная мощность емкостного характера, равная реактивной мощности силового трансформатора в режиме холостого хода.

Введением в систему регулирования корректирующего сигнала, пропорционального отклонению постоянного напряжения тяговой сети от заданного значения, достигается стабилизация этого напряжения путем регулирования переменного напряжения сети.

Автоматическая компенсация реактивной мощности и стабилизация напряжения тяговой сети не зависит от внешней характеристики сети и характера нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стационарная система аккумуляирования энергии рекуперации электроподвижного состава метрополитена на базе емкостных накопителей энергии [Текст] / Ю. А. Бродский и др. // Электротехника. – 2008. – № 7. – С. 38-41.
2. Веников, В. А. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах [Текст] / В. А. Веников, В. И. Идельчик, М. С. Лисеев. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети [Текст] / под ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновеного. – М.: Энергия, 1980.
4. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения [Текст] / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 311 с.
5. Иньков, Ю. М. Компенсаторы реактивной энергии со стабилизацией нагрузки трансформаторных подстанций [Текст] / Ю. М. Иньков, В. С. Климаш // Электричество. – 2003. – № 12. – С. 11-16.
6. Иньков, Ю. М. Компенсаторы неактивной энергии со стабилизацией напряжения трансформаторных подстанций [Текст] / Ю. М. Иньков, В. С. Климаш, Д. П. Светлаков // Электротехника. – 2007. – № 7. – С. 34-37.
7. Колб, А. А. Компенсация реактивной мощности и стабилизация выходного напряжения тяговых подстанций [Текст] / А.А. Колб // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2006. – Вип. 10. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 14-17.
8. Колб, А. А. Управление вентильными компенсаторами неактивных составляющих полной мощности [Текст] / А. А. Колб // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – 2005. – Вип. 15. – Ч. 2. – С. 87-91.
9. Ковач, К. П. Переходные процессы в машинах переменного тока [Текст] / К. П. Ковач, И. Рац. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.

Поступила в редколлегию 01.12.2009.
Принята к печати 17.12.2009.

МЕТОДИКА ВИБОРУ УСТАВКИ ШВИДКОДІЮЧИХ ВИМИКАЧІВ ФІДЕРІВ 3,3 кВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМИ СИСТЕМАМИ ЗАХИСТУ

У статті представлено нову методику вибору уставки швидкодіючих вимикачів 3,3 кВ тягових підстанцій постійного струму, призначену для використання в мікропроцесорній системі захисту фідерів. Дана методика є досконалішою існуючою за приростом струму та використовує результати математичного моделювання системи тягового електропостачання.

В статье описана новая методика выбора уставки быстродействующих выключателей 3,3 кВ тяговых подстанций постоянного тока, предназначенная для использования в микропроцессорной системе защиты фидеров. Данная методика совершеннее существующей по приращению тока и использует результаты математического моделирования системы тягового электроснабжения.

In the article a new procedure of choice of minimum current jump for action of fast-acting switches of 3.3 kV DC traction substations intended for the use in the microprocessor protection system of feeders is described. This procedure is more perfect than existing one on the current increment and uses the results of mathematical simulation of the traction electric supply system.

Систему захисту тягових мереж постійного струму виконують за допомогою швидкодіючих вимикачів (ШВ), які обладнанні індуктивним шунтом чи реле-диференційним шунтом. Однак їх захисні властивості перестали задовольняти сучасним вимогам експлуатації залізниць, особливо зважаючи на: велику кількість помилкових спрацьовувань; недостатню швидкодію; низьку чутливість; пошкодження як самих ШВ, так і іншого обладнання тягових підстанцій. Тому розробка нових засобів захисту та підвищення їх чутливості і селективності є основною вимогою сучасних умов експлуатації електрифікованих залізниць. З цієї точки зору значних результатів можна досягти, доповнюючи ШВ тягових підстанцій пристроями мікропроцесорного захисту (МСЗ). Застосування ШВ у поєднанні з МСЗ дозволяє усунути недоліки, притаманні існуючим системам захисту фідерів.

Нормальна робота існуючої на сьогодні релейно-струмової системи захисту фідерів 3,3 кВ контактної мережі [1] залежить від уставки ШВ, на основі яких побудовані ці системи. На практиці уставки ШВ часто бувають надто занижені, що призводить до значної кількості помилкових та неселективних вимикань ШВ тягових підстанцій. Причинами помилкових спрацьовувань також є стрибкоподібна зміна струму навантаження в тяговій мережі під час перегрупування тягових двигунів електровозів

у їх нормальних режимах роботи, а також у режимах «зняття-відновлення» напруги на струмоприймачі [2]. Неселективні вимикання ШВ відбуваються за рахунок нескоординованої роботи систем захисту тягових підстанцій та електрорухомого складу (ЕРС).

Таким чином, без суттєвих капіталовкладень підвищення ефективності роботи систем захисту може бути здійснено вдосконаленням методів вибору уставок автоматичних ШВ, в яких використовують результати математичного моделювання аварійних та експлуатаційних перехідних режимів із наступним дооснащенням існуючого обладнання тягових підстанцій МСЗ.

Найбільш об'єктивну оцінку властивостей ШВ дають, як це показано в [3], *характеристики спрацьовування* (ХС) ШВ. Ці характеристики – граничні лінії, що поділяють область спрацьовування і неспрацьовування ШВ при певному законі зміни струму.

Під *оптимальною захисною характеристикою* (ОЗХ) будемо розуміти комплекс характеристик спрацьовування, які забезпечують максимальну захищеність фідерної зони при допустимій імовірності хибних спрацьовувань ШВ [4].

Реальна зміна струму фідера 3,3 кВ при навантаженні і короткому замиканні (КЗ) відбувається за законом, що наближено описується виразом:

$$i(t) = I_0 + \Delta I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}} \right), \quad (1)$$

де $\Delta I = I_K - I_0$ – приріст струму, який визначається як різниця кінцевого I_K і початкового I_0 значень перехідного струму фідера (рис. 1); τ_c – стала часу зміни струму; I_0 – попереднє значення струму (до початку перехідного процесу).

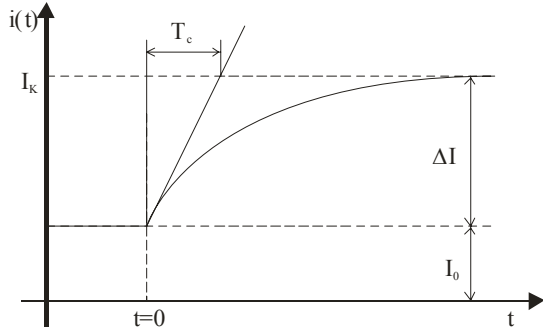


Рис. 1. Перехідний струм фідера при підвищенні навантаження чи КЗ

Вираз (1) може бути представлено і через швидкість зростання струму. Використовуючи залежності

$$\left(\frac{di(t)}{dt} \right)_{\max} = \left(\frac{di(t)}{dt} \right)_{t=0} = v_I = \frac{\Delta I}{\tau_c} \quad [3, 4],$$

отримаємо:

$$i(t) = I_0 + \Delta I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}} \right) \quad (2)$$

Таким чином, згідно (1) і (2), струм фідера є функцією трьох параметрів I_0 , ΔI , $\tau_c(v_I)$. Параметри I_0 , ΔI характеризують усталену величину струму до та після зміни поточного значення перехідного струму $i(t)$, а третій – $\tau_c(v_I)$ – характеризує зміну перехідного струму.

У відповідності з [3], ХС є залежність стрибка струму ΔI , що викликає спрацювання ШВ, від величини попереднього струму навантаження I_0 при $\tau_c = \text{const}$, тобто це є залежність $\Delta I = f(I_0)$. Двома граничними значеннями цієї ХС є статична і динамічна уставка ШВ.

Статичну уставку I_y визначають спрацюванням ШВ при повільній зміні струму за виразом (1).

Динамічна уставка ΔI_y визначає мінімальний стрибок струму, який викликає спрацювання ШВ при $\tau_c = \text{const}$ і $I_0 = 0$, тобто вона визначає спрацювання від зміни струму.

Як показано в роботі [3], ХС є прямою лінією, що з'єднує відрізки ΔI_y і I_y , відкладені відповідно по осі ординат і абсцис (рис. 2).

Таким чином, довільна проміжна точка ХС при відомих ΔI_y і I_y , а також відомому I_0 визначається виразом [4]:

$$\Delta I = \Delta I_y \frac{I_y - I_0}{I_y}. \quad (3)$$

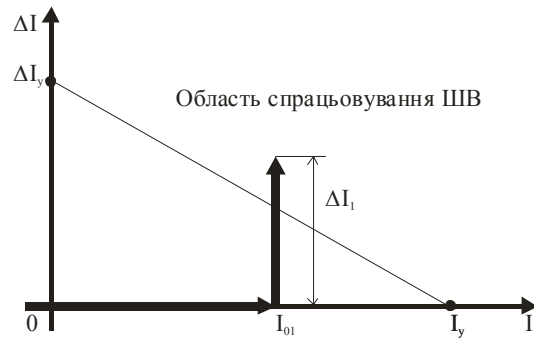


Рис. 2. Характеристика спрацювання ШВ

Область спрацювання вимикача лежить вище ХС. Визначаючи ΔI_y для всіх можливих значень τ_c , яке змінюється у межах $0 \leq \tau_c \leq \infty$ при одному й тому ж значенні I_y , можемо побудувати сімейство ХС ШВ. За допомогою сімейства ХС легко встановити поведінку ШВ при стрибкові струму величиною ΔI_1 , якщо відома стала часу τ_{c1} і значення попереднього струму навантаження I_{01} . Відклаємо спочатку по осі абсцис величину I_{01} і проводимо з цієї точки перпендикуляр величиною ΔI_1 . Якщо кінець відрізка ΔI_1 знаходиться в області над характеристикою, то ШВ від розглядуваного стрибка спрацює, якщо ж нижче характеристики – не спрацює.

Слід зауважити, що навіть для одного й того ж фідера параметри I_0 , ΔI , $\tau_c(v_I)$ є величинами змінними, які залежать від конкретної ситуації в момент зміни струму навантаження чи КЗ. Параметр I_0 залежить від кількості електровозів, що знаходяться на фідерній зоні та режимів їх ведення до моменту перехідного процесу, ΔI – від виду перехідного режиму: пуск електровоза; перехід електровоза на іншу позицію; відрив-торкання струмоприймача; КЗ на

електровозі; КЗ поза електровозом; прохід струмоприймача ізольованої вставки. Параметри $\tau_c(v_I)$ залежать від параметрів тягової мережі та електрорухомого складу (ЕРС) в момент короткого замикання.

Аналіз зміни струму фідерів тягової мережі 3,3 кВ дозволяє встановити, що [4, 5]: величина стрибків струму навантаження мало змінюється в залежності від попереднього струму навантаження I_0 ; величина стрибків струму КЗ знаходиться в зворотній залежності від величини попереднього струму навантаження I_0 , тобто зменшується зі збільшенням I_0 ; стала часу τ_c і швидкість зміни v_I струму навантаження і КЗ залежать від величини попереднього струму навантаження і діапазони їх зміни спільномірні, достатньо вузькі і знаходяться у межах: $\tau_c \approx 0,01...0,05$ с; $v_I \approx 30...120$ кА/с. Тобто відрізнити зміну струму навантаження фідерів 3,3 кВ від зміни струму КЗ за швидкістю зростання струму неможливо.

У роботах [3, 4] було зазначено, що у тих випадках, коли максимальні стрибки пускового струму менше мінімальних стрибків струму КЗ, ця залежність дуже корисна, оскільки при відповідних характеристиках ШВ дає можливість селективно вимикатися при струмах КЗ, величина яких менше I_y .

На фідерах 3,3 кВ постійного струму імовірна ситуація показана на рис. 3, де показана усереднена ХС ШВ і стрибкоподібна зміна навантаження від нуля до I_{Hmax} . Статичну уставку ШВ при цьому обирають у відповідності з діючими нормами, тобто [1]:

$$I_y \leq I_{Kmin} - 300.$$

Таким чином, значення мінімального струму КЗ лежать справа від I_y .



Рис. 3. Характеристики спрацювання при тяговому навантаженні

Для кожного стрибка усталений струм спрощено зображено рівним сумі приросту струму від усіх попередніх стрибків. Останній третій стрибок викликає хибне спрацювання ШВ. Якщо аналогічна ситуація на фідері повторюється часто, то експлуатація ШВ при такому його налаштуванні стає неможливою, тобто така ХС ШВ є далекою до ОЗХ. Крім того, з метою досягнення ОЗХ, зміна навантаження вимагає зміни ХС.

Розглядаючи попередню ХС, можна визначити вимоги до ОЗХ: ОЗХ повинна мінімально, але з достатньою надійністю охоплювати область площини $\Delta I(I)$, в якій розміщено стрибки струму навантаження та її максимальні значення; ОЗХ повинна робити фідер, на якому реалізується, максимально захищеним за всіма параметрами, на які реагує ШВ із шунтом за умови надійного налаштування від хибних спрацювань; ОЗХ визначається не типом ШВ, а властивостями тягової мережі, тобто реалізація ОЗХ має бути здійсненою для кожного окремого фідера з урахуванням умов його роботи, пропускної здатності та експлуатованого ЕРС.

Враховуючи вищезазначене, в роботі [4] було запропоновано ОЗХ вигляду, зображеного на рис. 4.



Рис. 4. Оптимальна характеристика спрацювання при тяговому навантаженні

Щоб забезпечити імпульсний захист фідера, уставка вимикача повинна бути менше еквівалентного вимикаючого струму при всіх можливих сполученнях навантаження на фідері і приросту струму КЗ та більше еквівалентних струмів фідерів при самих різких приростах навантаження з урахуванням початкової умови. Таким чином, необхідно виконати умову [6]:

$$I_{Hmax} + \Delta I_1 \leq I_y \leq I_{Kmin} - \Delta I_2, \quad (4)$$

де $I_{H \max}$ – максимальний еквівалентний струм навантаження, який не викликає вимикання ШВ;

$I_{K \min}$ – мінімальний еквівалентний струм вимикання ШВ від КЗ;

$\Delta I_1, \Delta I_2$ – запас по струму, який забезпечує необхідну надійність і чутливість захисту ($\Delta I_1 = 100$ А, $\Delta I_2 = 300 \dots 350$ А [7]).

По відношенню до самого ШВ імпульсна уставка ΔI_y повинна мати значний запас по відношенню до максимального імпульсу струму навантаження $\Delta I_{H \max}$ і мінімального імпульсу струму КЗ із врахуванням струму генерації локомотивів $\Delta I_{K \min}$, тобто вона повинна задовольняти нерівність [8]:

$$\Delta I_{H \max} \ll \Delta I_y \ll \Delta I_{K \min}.$$

Тоді для імпульсної уставки вираз (4) можна переписати у вигляді:

$$\Delta I_{H \max} + \Delta I_1 \leq \Delta I_y \leq \Delta I_{K \min} - \Delta I_2. \quad (5)$$

Величини $\Delta I_{H \max}, \Delta I_{K \min}$ визначають шляхом математичного моделювання різних режимів роботи системи електричної тяги постійного струму. Величину запасу уставки $\Delta I_1, \Delta I_2$ необхідно визначати з точки зору ймовірності можливих хибних спрацьовувань захисту при заданій уставці.

Питання вибору ΔI_y є досить складним. З одного боку, бажаним є максимальне наближення ΔI_y до $\Delta I_{H \max}$, але у цьому випадку збільшується ймовірність хибних відключень. З іншого боку, збільшення ΔI_y не може бути безмежним, оскільки при $\Delta I_y \approx \Delta I_{K \min}$ порушується селективна робота системи захисту фідерів.

За результатами математичного моделювання, виконаних у роботах [9, 10], встановлено наступні показники захисних ХС (табл. 1). На рис. 5 представлено ХС для $\Delta I_y = 700 \dots 1000$ А та $I_y = 3000$ А.

Таблиця 1

Показники захисних характеристик імпульсного захисту

Напруга на затискачах тягової підстанції U_0 , В	Стала часу електро- тягової мережі τ_c , с	Струм статичної уставки ΔI , А	Максимальний стрибок струму навантаження $\Delta I_{H \max}$, А	Мінімальний стрибок струму КЗ $\Delta I_{K \min}$, А
3300	0,005...0,03	3000...4000	600...850	1200...1700

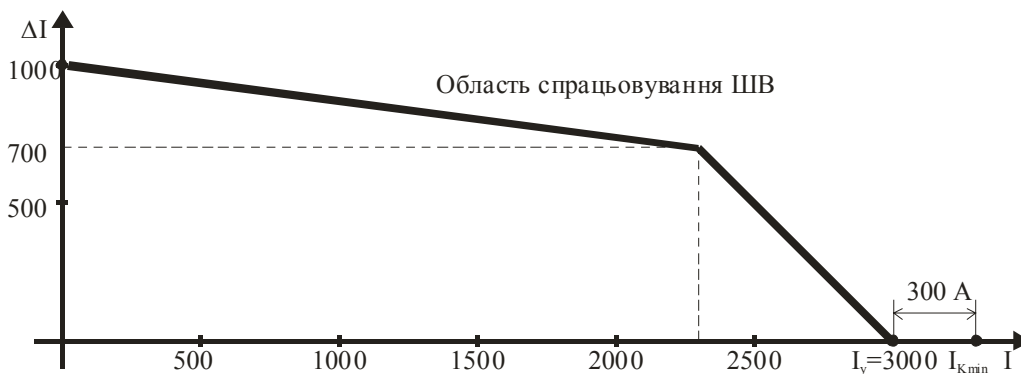


Рис. 5. Реалізована оптимальна характеристика спрацювання

Алгоритм визначення уставки з врахуванням режимів роботи ЕРС можна представити таким чином.

1. За даними графіка руху потягів вибирають розрахункові схеми для зосередженого і розподіленого навантаження.

2. Знаючи діапазон коливання напруги на фідері, тип і характеристику ЕРС, параметри

фідерів і тягових підстанцій, виконують математичне моделювання СЕТ в перехідних аварійних і експлуатаційних режимах.

3. На основі результатів зазначеного моделювання СЕТ в робочих перехідних режимах вибирають найбільший приріст перехідного струму навантаження фідера $\Delta I_{H \max}$.

4. За результатами моделювання в аварійних перехідних режимах вибирають найменший приріст перехідного струму КЗ фідера $\Delta I_{K \min}$.

5. За існуючою методикою визначають перехідний струм фідера при КЗ у найвіддаленішій точці фідерної зони за умовою (4) визначають струм уставки ШВ I_y .

6. Знаючи $\Delta I_{H \max}$, $\Delta I_{K \min}$, I_y , будують ЗХ розглядуваного фідера.

7. Захисну характеристику (ЗХ) фідера представляють у вигляді апроксимованої характеристики, виконують оцифровку (представлення у бінарному коді) отриманої ЗХ. ЗХ, представлену у двійковому коді, заносять у пам'ять мікропроцесорної системи захисту у вигляді масиву даних.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрических железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
2. Костін, Н. А. Імовірнісний аналіз перехідних процесів в силових електричних колах електроваза ДЕ1 [Текст] / Н. А. Костін, Т. Н. Міщенко, О. І. Гілевич // Технічна електродинаміка. – 2005. – № 3. – С. 54-61.
3. Пупынин, В. Н. Полная теория работы и характеристики параллельных индуктивных шунтов быстродействующих выключателей типов ВАБ-2, АБ-2/3, АБ-2/4 и реле дифференциальных шунтов выключателей ВАБ-28 [Текст] / В. Н. Пупынин // Труды МИИТа. – 1965. – Вып. 213. – С. 61-85.
4. Пупынин, В. Н. Реализация оптимальных защитных характеристик быстродействующего выключателя постоянного тока [Текст] / В. Н. Пупынин // Труды МИИТа. – 1971. – Вып. 380. – С. 26-44.
5. Векслер, М. И. Экспериментальное исследование влияние тяговой нагрузки на формирование тока короткого замыкания и работу импульсной защиты питающих фидеров [Текст] / М. И. Векслер // Сб. тр. ВЗИИТа. – М., 1968. – Вып. 30. – С. 49-62.
6. Векслер, М. И. Методика расчета импульсных уставок и параметров индуктивных шунтов быстродействующих выключателей постоянного тока [Текст] / М. И. Векслер // Сб. тр. ВЗИИТа. – М., 1968. – Вып. 30. – С. 63-71.
7. Пупынин, В. Н. Защита и отключение тяговых сетей в аварийных режимах [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук. – М.: МИИТ, 1986. – 340 с.
8. Кучма, К. Г. Защита от токов короткого замыкания в контактной сети [Текст] / К. Г. Кучма, Г. Г. Марквардт, В. Н. Пупынин. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 259 с.
9. Костин, Н. А. Математическое моделирование переходных аварийных электромагнитных процессов в системе электрической тяги постоянного тока: 1. Короткое замыкание без тяговой нагрузки [Текст] / Н. А. Костин, П. Е. Михалченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 66-71.
10. Михалченко, П. Є. Математичне моделювання перехідних аварійних електромагнітних процесів в системі електричної тяги постійного струму [Текст] / П. Є. Михалченко, М. О. Костін // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – Ч. 2. – К., 2008. – С. 31-35.

Надійшла до редколегії 02.10.2009.

Прийнята до друку 21.10.2009.

ВПЛИВ ПІДВИЩЕННЯ НАПРУГИ В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ВЕЛИЧИНУ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ

У статті представлено результати дослідження впливу підвищення напруги у контактній мережі постійного струму на величину втрат енергії у цій контактній мережі. Розрахунки виконані з використанням традиційних загальноприйнятих методик.

В статье представлены результаты исследования влияния повышения напряжения в контактной сети постоянного тока на величину потерь в этой контактной сети. Расчеты выполнены с использованием традиционных общепринятых методик.

In the article the results of study of the influence of rising the voltage in DC contact network on the value of losses in this contact network are presented. The calculations are executed with use of traditional commonly accepted techniques.

Вступ

Електрифікація залізниць є найважливішою ланкою технічного прогресу на транспорті. Переконання у тому, що електричний транспорт як вид транспорту є найбільш економним і екологічно чистим, не вимагає довгих пояснень. Завдяки електрифікації стало можливим суттєве підвищення пропускної та перевізної здатності залізниць, ефективності роботи з перевезень, поліпшення умов праці, зниження витрат паливо-енергетичних ресурсів. Електрифікація залізничних магістралей сприяла електрифікації промисловості в цілому, оскільки тягові підстанції, що живлять розподільчі мережі, використовуються не лише для потреб електричної тяги, але й для забезпечення електроенергією промислових підприємств, а також підприємств сільського господарства в районах, суміжних із залізницями [1, 2, 3].

На початку електрифікації залізниць застосовувалися системи постійного струму напругою 1,5 кВ та 3 кВ, щоправда у 1947 р. було прийняте рішення про припинення електрифікації напругою 1,5 кВ та перевід ліній, що були раніше електрифіковані за такою системою, на робочу напругу 3 кВ. Вже до 1957 р. роботи з переведення було закінчено. Одночасно із системою 3 кВ постійного струму отримує розповсюдження система змінного струму 25 кВ. Вже за два десятиріччя вводиться в дослідницьку експлуатацію ділянка, електрифікована за системою 2×25 кВ [1].

Разом із переходом залізниць на електричну тягу розвитку набуває і транспортна енергетика. В наступні роки нерентабельні, малопотуж-

ні електростанції закриваються, а залізничні споживачі під'єднуються до державних енергосистем. Через розподільні мережі та тягові підстанції залізничного транспорту електрична енергія передається і нетранспортним споживачам, що розміщені в суміжних із залізницями районах.

Багаторічна практика експлуатації електричної тяги показала свої високі переваги не лише у порівнянні з дизельною тягою.

Зі зростанням основного енергоресурсу для залізниць – електричної енергії та підвищенням ваги потягів, зміни швидкісних режимів, а також інтенсивності та завантаженості діючих залізничних маршрутів на перший план все частіше починають виступати питання щодо економії електроенергії, модернізації систем електроспоживання і т.ін. Одним із найвигодніших з економічної точки зору є підвищення живлячої напруги в контактній мережі [4].

Варто сказати, що проблема підвищення напруги в контактній мережі постійного струму не є новою. Вона неодноразово досить гостро поставала на різних етапах розвитку залізничного транспорту. Вперше це питання загострилося у зв'язку із тим, що в 60-ті роки почали різко зростати вантажопотоки на ділянках, електрифікованих постійним струмом. Разом із тим зростали швидкість та вага поїздів. Враховуючи всі ці негативні, з точки зору живлення рухомого складу, фактори, було прийнято рішення про підсилення систем електрозабезпечення найбільше завантажених районів залізниць. З цього приводу було висунуто ряд пропозицій, таких як переведення даних ділянок на системи живлення змінним струмом, а також

використання різних прийомів щодо обладнання та експлуатації додаткових підстанцій. Але найбільш економічно та технічно вигідною була пропозиція про підвищення напруги в контактній мережі. Це пояснюється тим, що встановлювати додаткові підстанції дорого, а переводити вантажонапружені ділянки на змінний струм, використовуючи при цьому тисячі технологічних вікон, просто не видавалося можливим. Тому найбільш раціональним було рішення про переведення інтенсивно завантажених ділянок на живлення підвищеною напругою [2].

Сьогодні з'являються ідеї про те, щоб підвищувати напругу не тільки в мережі постійного струму, а й мережах змінного також. Так, в контактну мережу постійного струму пропонується подавати замість звичних 3 кВ – 6, 12 або 24 кВ. Мета, яку маємо досягти в ході цих заходів, – зниження тягового струму локомотива, що тягне за собою зменшення втрат електричної енергії в контактній мережі.

Мета роботи

Дослідити вплив збільшення напруги в контактній мережі на величину втрат електричної енергії при потужностях електровозів в діапазоні від 3000 до 12000 кВт з метою визначення доцільного рівня підвищення напруги у контактній мережі постійного струму, з точки зору мінімізації рівня втрат електричної енергії.

Матеріал і результати дослідження

В літературних джерелах [1, 3] наведено стандартну методику розрахунку втрат енергії в контактній мережі. Використаємо її для оцінки необхідності проведення вказаних заходів.

Прийmemo наступні початкові умови.

До фідерної зони тягової підстанції входить один перегін, довжина якого складає 10 км. Приймаємо профіль перегону таким, що потяг проходить його зі швидкістю 100 км/год при увімкнених тягових двигунах.

За методикою [1], втрати розраховуються для рельсового кола та кола контактної мережі окремо, тобто відомо, що для одноколісного перегону втрати енергії в рейковому колі визначають за формулою:

$$\Delta W_p = r_p \sum_{q=1}^s \left[\frac{1}{TU_k^2} \sum_{i=1}^{n_q} W_{iq} \sum_{j=1}^{n_q} \bar{v}_{jqif} W_{jq} + T \sum_{i=1}^{n_q} \bar{v}_{iqiq} D[I]_{iq} \right]. \quad (1)$$

У формулі (1) прийнято наступні позначення:

r_p – опір 1 км рейкового кола, Ом/км;

T – заданий розрахунковий період, год;

U_k – номінальна напруга в контактній мережі, В;

W_{iq} – енергія, що споживається всіма потягами на i -тому перегоні, q -тій колії за період T , кВт·год;

$\bar{v}_{iqiq}$ – коефіцієнт взаємного зв'язку між точками прикладання навантаження I_{iq} та I_{iq} рейкового кола;

$D[I]_{iq}$ – дисперсія струму i -го перегону q -тої колії, A^2 ;

Якщо у формулу (1) замість r_p підставити $r_p + r_{кп}$, де $r_{кп}$ – опір 1 км контактного дроту, Ом/км, то отримаємо повні втрати енергії на одноколісному перегоні.

$$\Delta W_p = r_p + r_{кп} \sum_{q=1}^s \left[\frac{1}{TU_k^2} \sum_{i=1}^{n_q} W_{iq} \sum_{j=1}^{n_q} \bar{v}_{jqif} W_{jq} + T \sum_{i=1}^{n_q} \bar{v}_{iqiq} D[I]_{iq} \right]. \quad (2)$$

Дисперсія – міра розкиду випадкової величини (у даному випадку тягового струму), тобто відхилення від математичного очікування цієї самої величини [1].

Перед тим, як розраховувати втрати енергії, необхідно визначитися з дисперсією тягового струму. Для цього скористаємось стандартною методикою, що наводиться в довідниковій літературі [1]. Нехай на нашому умовному перегоні не використовується рекуперація, це припущення суттєво спростить математичні розрахунки.

Отже, дисперсія тягового струму на одноколісному перегоні визначається за формулою:

$$D[I]_j = \frac{1}{T^2 U_k^2} \cdot \left(1,1 T \sum_{g=1}^v \frac{N_{gj}}{t_{gjtr}} W_{gj}^2 - W_j^2 \right), \quad (3)$$

де N_{gj} – кількість потягів типу g , які пройдуть по j -тому перегону за період часу T ;

t_{gjtr} – час споживання енергії потягом типу g на перегоні i , год;

W_{gj} – енергія, що споживається потягом типу g при русі по перегону j за період часу T , кВт·год;

W_j – енергія, що споживається усіма потягами на перегоні j за період часу T , кВт·год.

Приймаємо всі потяги, що рухаються перегonom, однотипними, тобто $g=1$. Кількість потягів за період складає $N_{11}=10$. Нехай всі потяги рухаються перегonom з однаковою швидкістю, отже, час споживання енергії потягом на перегоні дорівнює $t_{11T}=0,1$ години. Прийmemo розрахунковий період часу $T=1$ година. Визначимо дисперсію тягового струму для напруги в контактній мережі в 3 кВ, 6 кВ, 12 кВ, 24 кВ та при потужності локомотивів 3000 кВт, 6000 кВт, 9000 кВт, 12000 кВт. Використовуючи формулу (3), отримаємо значення дисперсії, які наведемо в табл. 1.

Таблиця 1

Значення дисперсії тягового струму при різних значеннях напруги контактної мережі та потужності електровозів

Потужність електровоза, кВт	Напруга контактної мережі, кВ			
	3	6	12	24
3000	0,1	0,025	0,00625	0,0015625
6000	0,4	0,1	0,025	0,00625
9000	0,9	0,225	0,056	0,014
12000	1,6	0,4	0,1	0,025

Отримані результати розрахунків представимо у вигляді графіків (рис. 1).

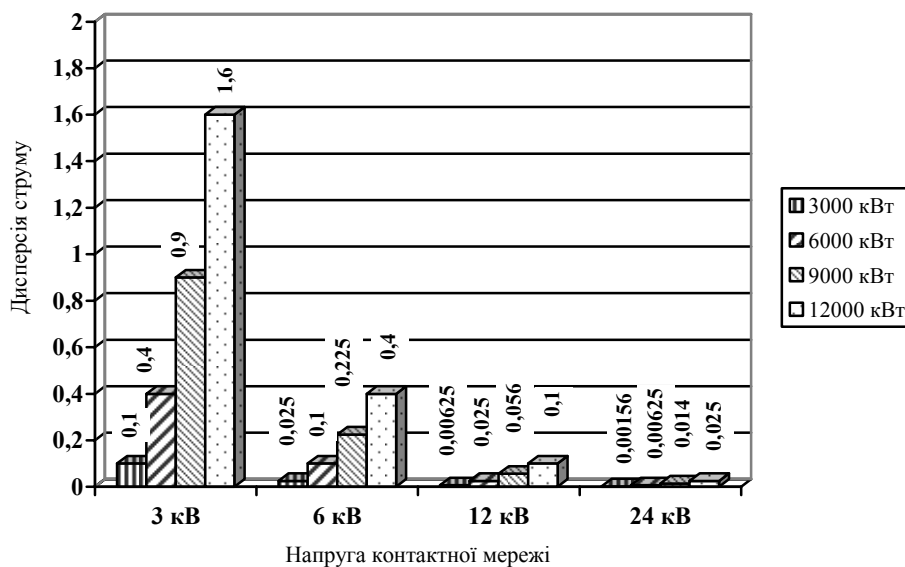


Рис. 1. Діаграма, що ілюструє зміну значень дисперсії тягового струму при різних напругах контактної мережі та різних потужностях електровозів

Аналіз наведених на рис. 1 даних показує, що збільшення напруги тягне за собою зменшення величини тягового струму, а відповідно і його дисперсії. Відбувається це наступним чином: при збільшенні напруги в контактній мережі в два рази величина дисперсії струму зменшується в 4 рази, при збільшенні напруги в 4 рази дисперсія зменшується в 16 раз та при збільшенні напруги у 8 разів – дисперсія зменшується в 64 рази. Маємо чітку квадратичну зворотну залежність.

В той самий час збільшення потужності електровозу приводить до збільшення значення дисперсії. Таким чином, збільшення потужності в 2 рази викличе чотирикратне збільшення дисперсії тягового струму; збільшення потуж-

ності в три рази – збільшення дисперсії в 9 раз, і т.д. Дисперсія тягового струму прямо пропорційна квадрату потужності електровоза та обернено пропорційна квадрату живлячої напруги.

Розглянемо вплив зміни напруги в контактній мережі та потужності електровозів на величину втрат енергії в ній.

Нехай для живлення рухомого складу на умовній ділянці контактний дріт типу МФ-150, опір якого складає $r_{кп}=0,118$ Ом/км, а опір одного кілометра рейок Р-65 дорівнює $r_p=0,0127$ Ом/км. Середній коефіцієнт взаємного зв'язку між точками прикладення навантаження прийmemo таким, що дорівнює $\bar{v}_{iqiq}=5$. Підставивши значення потужності

електровоза, напруги контактної мережі та дисперсії тягового струму, можемо за формулою (2) визначити величину втрат енергії та їх залежність від напруги та потужності в абсолютних одиницях. Результати розрахунків занесемо до табл. 2.

Таблиця 2

Значення втрат енергії при різних значеннях живлячої напруги контактної мережі та різних потужностях електровозів (в абсолютних величинах)

Потужність електровоза, кВт	Напруга контактної мережі, кВ			
	3	6	12	24
3000	0,654	0,163	0,041	0,01
6000	2,614	0,654	0,163	0,041
9000	5,882	1,47	0,368	0,092
12000	10,456	2,614	0,654	0,163

Аналізуючи дані, що наведені в табл. 2, зазначимо: збільшення живлячої напруги вдвічі, при потужності електровозів 3000 кВт тягне за собою зменшення втрат енергії в 4,012 разу, при збільшенні напруги в чотири рази – 15,951 разу; при збільшенні напруги у вісім разів – втрати зменшуються в 65,4 разу. Майже ті ж самі співвідношення можна спостерігати і для потужностей електровозів 6000, 9000, 12000 кВт. Зміну величини витрат електричної енергії в абсолютних значеннях при зміні напруги контактної мережі наочно представимо на рис. 2 та 3.

Метою проведених досліджень є визначен-

ня доцільного рівня підвищення напруги у контактній мережі постійного струму з точки зору мінімізації рівня втрат електричної енергії. Для цього перейдемо від абсолютних величин втрат енергії до відносних (див. табл. 3).

Таблиця 3

Значення втрат енергії при різних значеннях живлячої напруги контактної мережі та різних потужностях електровозів (у відносних величинах)

Потужність електровоза, кВт	Напруга контактної мережі, кВ			
	3	6	12	24
3000	100,00 %	24,92 %	6,27 %	1,53 %
6000	100,00 %	25,02 %	6,24 %	1,57 %
9000	100,00 %	24,99 %	6,26 %	1,56 %
12000	100,00 %	25,00 %	6,25 %	1,56 %

Розрахунки проведені виходячи з умови рівності 100 % втрат потужності для напруги у контактній мережі 3 кВ, для кожної з потужностей електровоза.

За даними табл. 3 визначимо відносне зменшення втрат потужності (у %) при переході від однієї системи живлення до іншої.

Величина відносного приросту втрат енергії дає уяву про те, як інтенсивно зменшуються втрати з підвищенням напруги в живлячій мережі.

Аналізуючи наведені на рис. 4 дані, відзначимо, що підвищення напруги в контактній мережі до 6 кВ дозволяє зменшити втрати на 75 %.

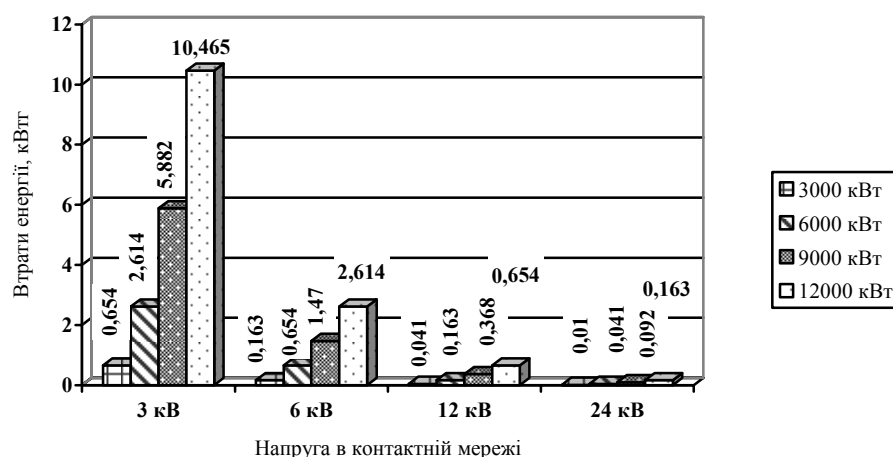


Рис. 2. Діаграма, що ілюструє зміну значення втрат електричної енергії в контактній мережі при різних напругах та потужностях електровозів

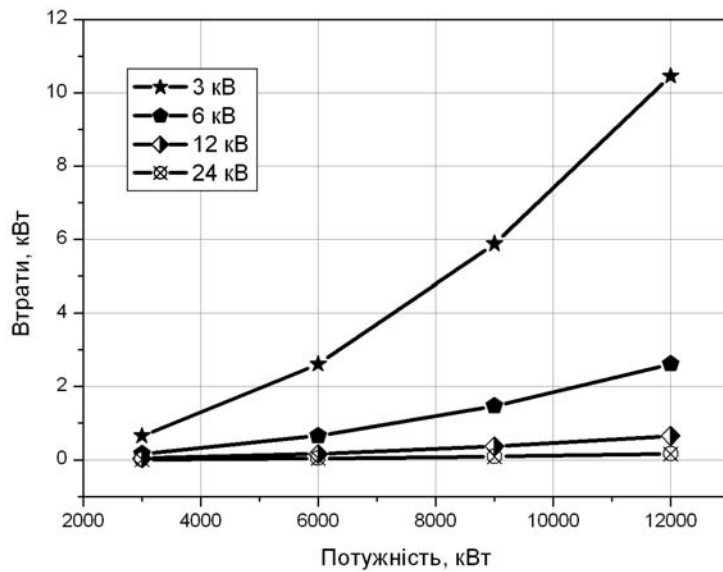


Рис. 3. Залежність між потужністю електровоза та втратами енергії при різних напругах у контактній мережі

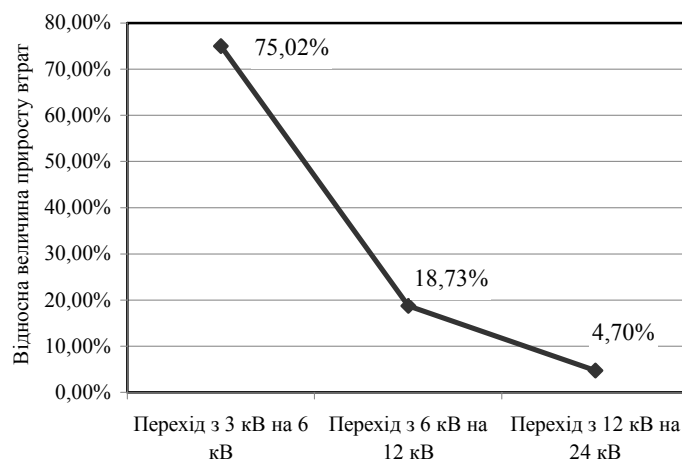


Рис. 4. Графік зміни величини відносного зменшення втрат при переході з однієї напруги живлення на іншу

Це досить суттєве зменшення. Якщо ж далі підвищити напругу до 12 кВ, то додатковий вигаиш у зменшенні втрат сягатиме майже 19 % (18,73 %) відносно до втрат при напрузі 6 кВ. При переході з 12 кВ на 24 кВ приріст втрат складає лише 4,70 %, відносно до втрат при напрузі 12 кВ (див. табл. 4).

Порівнюючи усі три значення приросту втрат, зробимо висновок, що найбільш доцільними є заходи щодо підвищення напруги в контактній мережі до 6...12 кВ. Підвищення ж до 24 кВ не має сенсу, бо низький приріст втрат енергії не покриє значних капіталовкладень у впровадження систем живлення такого типу.

Суттєвою перевагою у виборі між двома напругами є той факт, що для того, аби подавати в контактну мережу замість 3 кВ шість, не потрібно великих витрат. Система 6 кВ будується на базі існуючих тягових підстанцій шляхом перемикаання схем випрямлячів [6]. Живлення від такої системи можна застосовувати на всіх ділянках, що електрифіковані постійним струмом, а особливо на тих, що мають великий вантажообіг та значну інтенсивність руху поїздів.

На ділянках із складним профілем, а також там, де рухаються переважно потяги великої ваги, більш раціональним є застосування системи живлення напругою 12 кВ постійного струму.

Таблиця 4

**Величини приростів втрат при переході
від однієї системи живлення до іншої**

Потужність електровоза, кВт	Перехід з 3 кВ на 6 кВ	Перехід з 6 кВ на 12 кВ	Перехід з 12 кВ на 24 кВ
3000	75,08 %	18,65 %	4,74 %
6000	74,98 %	18,78 %	4,67 %
9000	75,01 %	18,74 %	4,69 %
12000	75,00 %	18,75 %	4,70 %
Середнє значення приросту втрат	75,02 %	18,73%	4,70 %

Це можна пояснити тим, що велика маса потягу вимагає експлуатувати електровози великої потужності. При потужності локомотивів більше 6000 кВт навіть при напрузі 6 кВ мають місце значні втрати енергії. Тому з метою зниження втрат доцільним є застосування більш високої напруги (12 кВ) для живлення електро-рухомого складу.

Зниження величини тягового струму дозволяє зменшити площу перерізу контактного дроту, тобто зменшити кількість міді на його виготовлення. Також зниження струму дозволить більш раціонально використовувати поперечний переріз провідника, бо при меншому значенні величини струму має місце менший вплив поверхневого ефекту; знизить температуру нагріву контактної мережі, отже, збільшить і термін служби контактних дрітків.

Загальні висновки

Досить низький рівень розвитку напівпровідникової техніки в 70-ті роки загальмував процес втілення цієї ідеї в життя. Однак теоретичний бік питання прогнозує суттєвий економічний результат від застосування систем живлення підвищеною напругою. Сьогодні, коли силова електроніка вийшла на якісно новий рівень, а вартість енергоресурсів зростає, настає час, коли питання економії електроенергії та підсилення систем енергозабезпечення вихо-

дять на перший план, є нагальна потреба у створенні нових перетворювачів для рухомого складу та переведення існуючих залізниць на живлення системою 6, 12 або 24 кВ постійного струму.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють стверджувати, що при потужностях локомотивів до 6000 кВт є доцільним використовувати систему тягового електропостачання постійного струму з напругою 6 кВ, що дає змогу зменшити втрати електричної енергії у контактному дроті та рейковому колі на 75 %. При збільшенні потужностей локомотивів (від 6000 кВт) стає доцільним використовувати системи 12 або 24 кВ. Але враховуючи те, що виграш у зменшенні втрат від впровадження системи 24 кВ порівняно з 12 кВ не перевищує 5 %, є доцільним використовувати систему 12 кВ. Систему 24 кВ є доцільним використовувати при потужностях від 12000 кВт, наприклад, в системах швидкісного руху.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Справочник по электроснабжению железных дорог [Текст]. – Т. 1 / под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.
2. Корниенко, В. В. Существующие и перспективные технологии электроснабжения железных дорог [Текст] / В. В. Корниенко, Г. А. Доманская. // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 3-6.
3. Инновации на службе электрификации [Текст] // Евразия вести. – 2009. – № 10. – С. 8-9.
4. Бадер, М. П. Концептуальные решения по нетрадиционным системам тягового электро-снабжения и электромагнитной совместимости [Текст] // Материалы 2-ой Межд. науч.-практ. конф. «Электрификация железнодорожного транспорта «Трансэлектро-2008». – Д.: ДИИТ, 2008. – С. 26.
5. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
6. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи [Текст] : учебник для вузов ж.-д. трансп. / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 18.01.2010.

НЕПРОДУКТИВНІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Викладено результати досліджень, що вказують на споживання неактивної (реактивної за Фрізе) потужності в системі електричної тяги постійного струму. Показано, що таке споживання призводить до значних додаткових втрат електроенергії в системі.

Изложены результаты исследований, указывающие на потребление неактивной (реактивной по Фризе) мощности в системе электрической тяги постоянного тока. Показано, что такое потребление приводит к значительным дополнительным потерям электроэнергии в системе.

The research results specifying to the consumption of inactive (reactive by Fryze) power in a DC system of electric propulsion are stated in the article. It is shown that this consumption brings to considerable additional losses of electric energy in the system.

Вступ

Передача повної потужності від тягової підстанції (ТП) до електрорухомого складу (ЕРС) супроводжується втратою частини потужності в тяговій мережі та елементах ТП. До теперішнього часу проводилася оцінка лише загальних сумарних (які називають технологічними) втрат електроенергії [1 – 7]. І якщо такий підхід цілком виправданий при розрахунках нових систем електропостачання та при уточненні навантажень, що живлять лінії електропередач, то при оцінюванні якості організації та контролю існуючого тягового електропостачання та електроспоживання він є відверто недостатнім. Це обумовлено тим, що усі технологічні втрати слід розподіляти на основні (продуктивні) та додаткові (непродуктивні). Основні втрати обумовлені передачею активної енергії в електрорухомий склад і вони мають бути зменшені до оптимального рівня, під яким розуміють такі їх значення, за яких не існує економічно виправданих способів їх подальшого зниження. Непродуктивні втрати пов'язані з неякісною електричною енергією, з характером електроспоживання та викликані: перетіканнями реактивної потужності та потужності спотворення, а також некорисною циркуляцією (обміном) енергії між ТП та ЕРС, і вони мають бути знижені до мінімуму.

Теоретичні передумови

З проблемою знаходження непродуктивних втрат електроенергії тісно пов'язані питання оцінки реактивної потужності. Загальновідома

[8] неоднозначність поняття та визначення реактивної потужності для кіл несинусоїдного струму, якими і є тягові мережі. Однак всі дослідники мають єдину думку [8 – 10], що з точки зору проблеми визначення втрат потужності як в усталених, так і в перехідних режимах роботи системи найбільш правильною та ефективною є концепція С. Фрізе [11]. С. Фрізе запропонував будь-який споживач зі струмом $i(t)$ довільної форми представляти паралельним з'єднанням резистивного елемента R , що відображає споживану активну електроенергію, та реактивного елемента X , що характеризує споживання неактивних складових потужності: реактивної потужності та потужності спотворення (рис. 1).

Вважається, що у вітці з елементом R протікає активна складова струму $i_a(t)$, яка співпадає за формою з прикладеною до споживача напругою $u(t)$. По елементу X протікає реактивна складова струму $i_p(t)$, що ортогональна до напруги $u(t)$. Тоді для довільного інтервалу часу $[0 \dots \tau]$ струм $i(t)$ можна представити сумою:

$$i(t) = i_a(t) + i_p(t), \quad (1)$$

де

$$i_a(t) = \frac{P}{U^2} \cdot u(t), \quad (2)$$

$$i_p(t) = i(t) - \frac{P}{U^2} \cdot u(t). \quad (3)$$

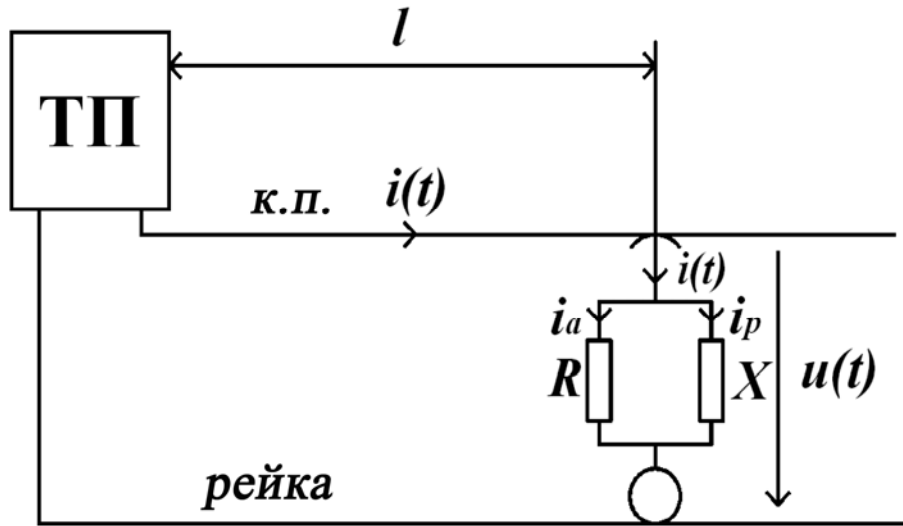


Рис. 1

Оскільки $i_a(t)$ та $i_p(t)$ є ортогональними функціями, то для квадрата діючого значення I^2 повного струму $i(t)$ справедливе співвідношення

$$I^2 = \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} i^2(t) dt = \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} i_a^2(t) dt + \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} i_p^2(t) dt = I_a^2 + I_p^2. \quad (4)$$

Тоді продуктивні (основні) втрати потужності в тяговій мережі при її передачі за довільний інтервал часу τ визначаються як

$$\Delta P_o = R_e \cdot I_a^2 = \frac{P^2}{U^2} \cdot R_e, \quad (5)$$

а непродуктивні (додаткові)

$$\Delta P_d = R_e \cdot I_p^2 = \frac{Q_\phi^2}{U^2} \cdot R_e, \quad (6)$$

де U – діюче за інтервал τ значення напруги на струмоприймачі ЕРС;

R_e – сумарний еквівалентний активний опір тягової мережі;

Q_ϕ – неактивна складова повної потужності або реактивна потужність за С. Фрізе, що споживається ЕРС і визначається за відомою формулою [12]:

$$Q_\phi = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (7)$$

Оскільки напруга на струмоприймачі $u(t)$ і тяговий струм $i(t)$ ЕРС (рис. 2) є випадковими

функціями, то активну P і повну S потужності ЕРС в (7) можливо визначати двома методами. Перший базується на поняттях теорії випадкових процесів і теоретичної електротехніки, згідно з якими активна потужність P дорівнює взаємній кореляційній функції K_{ui} напруги і струму при часовому зсуві рівному нулю, тобто при $t = t'$:

$$P = K_{ui}(t, t) = M[u(t) i(t)]. \quad (8)$$

А з відомої властивості взаємної кореляційної функції, що

$$|K_{ui}(t, t')| \leq \sqrt{K_u(t, t) \cdot K_i(t, t)},$$

випливає вираз для повної потужності

$$S = \sqrt{K_u(t, t) \cdot K_i(t, t)}, \quad (9)$$

де $K_u(t, t)$, $K_i(t, t)$ – автокореляційні функції напруги та струму.

Відповідно до другого методу, активну потужність ЕРС визначають виходячи з існуючого загального поняття, що активна потужність дорівнює середньому арифметичному значенню за період миттєвої потужності $p(t)$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt. \quad (10)$$

Виходячи з того, що $u(t)$ та $i(t)$ – неперіодичні випадкові функції, знайдемо P як середнє арифметичне суми дискретних миттєвих

значень миттєвої потужності за час ведення поїзда (чи поїздки) на даній ділянці:

$$P = \frac{\sum_{k=1}^n p_k}{n} = \frac{\sum_{k=1}^n u_k i_k}{n}. \quad (11)$$

Повну потужність S визначимо універсальною формулою

$$S = UI, \quad (12)$$

де U , I – діючі значення реалізацій напруги та струму за час поїздки:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n u_k^2}{n}}, \quad I = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n i_k^2}{n}}, \quad (13)$$

де в (11) та (13) p_k, u_k, i_k – дискретні значення миттєвої потужності, напруги та струму в довільний момент часу t_k поїздки (рис. 2); n – загальна кількість точок дискретизації реалізацій випадкових функцій $p(t), u(t), i(t)$.

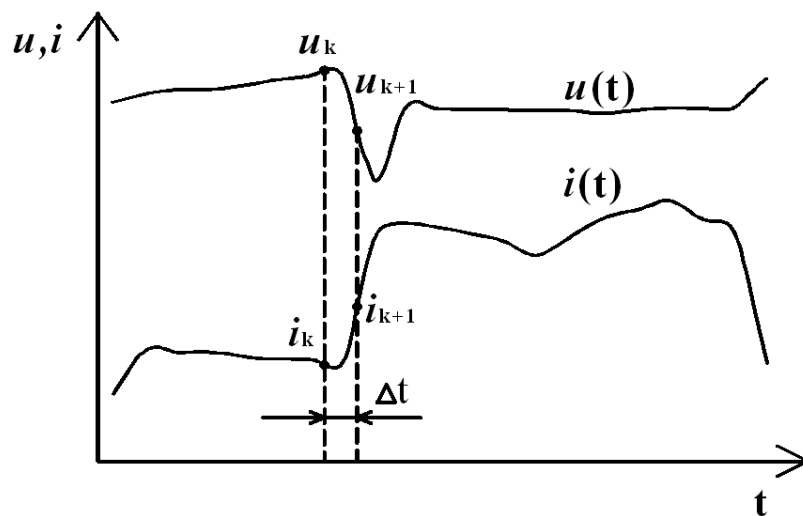


Рис. 2

Результати та аналіз числових розрахунків

Кількісна оцінка втрат потужності за наведеними вище виразами була виконана як приклад для даних (рис. 3) фідерних напруги (а) і струму (б), їх кореляційних функцій (в, г), а також миттєвої реактивної потужності (д) однієї із ділянок Придніпровської залізниці; результати розрахунків надано в табл. 1. При цьому значення потужностей S , P та Q_ϕ для трьох поїздок взято із роботи [13]. Еквівалентний опір R_ϵ тягової мережі і елементів ТП склав: 0,4379 Ом при $l = 5$ км; 0,7268 Ом – 10 км та 1,0157 Ом – 15 км. Діюче значення напруги U на струмоприймачі при відповідних значеннях l дорівнювало (В): 3480; 3260 і 3050.

Із табл. 1 випливає наступне:

- непродуктивні втрати потужності у тяговій мережі та в елементах ТП в залежності від відстані знаходження електровоза складають від 5 до 20 % відносно активної потужності ЕРС і від 28 до 35 % відносно сумарних втрат.

Таблиця 1

№ поїздки	Потужності			Додаткові (непродуктивні) втрати, $\Delta P_d, 10^3$, Вт, при:			Основні втрати ΔP_o при $l = 10$ км, 10^3 , Вт
	$S, 10^6$, ВА	$P, 10^6$, Вт	$Q_\phi, 10^6$, вар	$l = 5$ км	$l = 10$ км	$l = 15$ км	
1	4,565	3,723	2,628	249,87	471,70	756,56	946,75
2	4,316	3,640	2,297	190,90	360,39	577,98	905,00
3	2,330	1,802	1,436	74,61	140,85	225,89	221,80

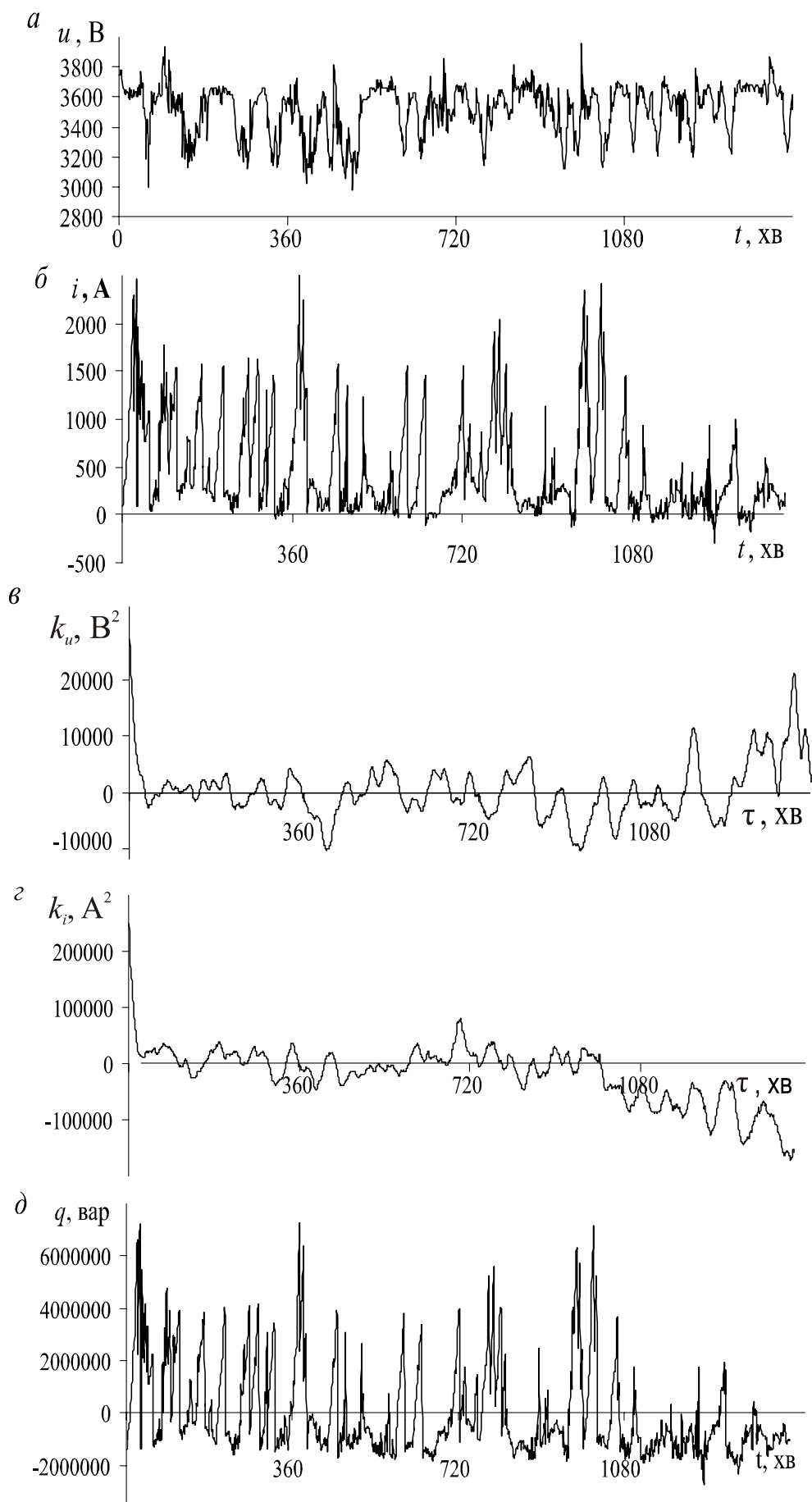


Рис. 3

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Крестьянов, М. Е. К определению потерь электрической энергии в тяговой сети [Текст] / М. Е. Крестьянов, А. Н. Кувичинский // Тр. МИИТа. – М., 1971. – Вып. 380. – С. 3-12.
2. Манусов, Ю. Б. Экспериментально-расчетное определение потерь мощности в устройствах тягового электроснабжения двухпутных участков постоянного тока [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук / Ю. Б. Манусов. – Д., 1975. – 156 с.
3. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 582 с.
4. Мамошин, Р. Р. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / Р. Р. Мамошин, А. Н. Зимакова. – М.: Транспорт, 1980. – 296 с.
5. Бардушко, В. Д. Анализ и параметрический синтез систем тягового электроснабжения [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук / В. Д. Бардушко. – Иркутск, 2001. – С. 133-154.
6. Сербиненко, Д. В. Качество электрической энергии и степень взаимного влияния тяговых подстанций железных дорог постоянного тока и системы внешнего электроснабжения [Текст] : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Д. В. Сербиненко. – М., 2003. – 24 с.
7. Кузнецов, В. Г. Оценка потерь электроэнергии в тяговой сети магистральных железных дорог [Текст] / В. Г. Кузнецов, Р. С. Мыцко, Д. А. Босый // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 34-37.
8. Тонкаль, В. Е. Баланс энергии в электрических цепях [Текст] / В. Е. Тонкаль, А. В. Новосельцев, С. П. Денисюк. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.
9. Жежеленко, И. В. Современная концепция реактивной мощности [Текст] / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко // Вестник Приазовского гос. техн. ун-та. – Мариуполь, 1995. – Вып. 1. – С. 192-197.
10. Домнин, И. Ф. Современные теории мощности и их использование в преобразовательных системах силовой электроники [Текст] / И. Ф. Домнин, Г. Г. Жемеров, Д. С. Крылов, Е. И. Сокол // Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2004. – Ч. 1. – С. 80-91.
11. Fryze, S. Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinustormigen Verlauf von Strom und Spannung // Elektrotechn. Z. – 1932. T. 25. – S. 596-599; T. 26. – S. 625-627; T. 29. – S. 700-702.
12. Костин, Н. А. Неактивная мощность и дополнительные потери электроэнергии в электроподвижном составе постоянного тока [Текст] / Н. А. Костин, О. И. Саблин // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганск, 2007. – № 8 (114). – С. 49-53.
13. Саблін, О. І. Підвищення ефективності електроспоживання електрорухомого складу постійного струму [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. І. Саблін. – Д., 2009. – 21 с.

Надійшла до редколегії 01.12.2009.

Прийнята до друку 23.12.2009.

О. А. СИДОРОВ, С. В. ЗАРЕНКОВ, А. В. ТАРАСЕНКО (ОмГУПС, Омск, Российская Федерация), Е. М. ДЕРБИЛОВ (Западно-Сибирская железная дорога, Российская Федерация)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТОКОСЪЕМА В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЛЕТАХ СКОРОСТНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК

У статті розглянуто причини погіршення надійності знімання струму в перехідних прольотах сполучень швидкісних контактних підвісок і запропоновано шляхи її підвищення при їх реконструкції.

В статье рассмотрены причины ухудшения надежности токосъема в переходных пролетах сопряжений скоростных контактных подвесок и предложены пути ее повышения при их реконструкции.

In the article the causes of deterioration of the current collection reliability in intermediate catenary spans of transitions of the high-speed contact systems are considered and the ways of increasing it during their reconstruction are offered.

Федеральной целевой программой «Модернизация транспортной системы России на 2002 – 2010 годы», наряду с существенным увеличением грузовых перевозок, предусмотрено поэтапное повышение скоростей движения (до 160...200 км/ч) пассажирских и грузовых поездов с увеличением протяженности полигона скоростного движения до 8 тыс. км. В связи с этим на электрифицированных участках железных дорог, на которых планируется организация скоростного движения, совершенствуются существующие и применяются новые типы контактных подвесок. В частности, на Западно-Сибирской железной дороге широко внедряется контактная подвеска КС-160.

Процесс реконструкции участков связан с привлечением проектных организаций, которые совместно с дистанциями электроснабжения разрабатывают и предлагают технические решения по реализации скоростного движения. Одним из наиболее важных и ответственных этапов работ является «переразбивка» анкерных участков контактной сети, сопровождающаяся изменением длин пролетов между опорами и, соответственно, мест расположения сопряжений контактных подвесок. Это обусловлено, прежде всего, конструктивными особенностями самих сопряжений и необходимостью согласования их с существующими элементами питания и секционирования контактной сети. Однако разрабатываемые проекты не содержат полной информации по настройке элементов контактной подвески в переходных

пролетах, что при последующем их монтаже может отрицательно сказаться на качестве токосъема.

Основной причиной ухудшения качества токосъема на сопряжениях анкерных участков являются переходные процессы в этих зонах, вызванные изменением характеристик контактных подвесок [1].

В Омском государственном университете путей сообщения (ОмГУПС) на протяжении многих лет ведется работа по улучшению качества токосъема при высоких скоростях движения электроподвижного состава, в том числе и в переходных пролетах контактной сети.

Анализ сопряжений анкерных участков, смонтированных на Омской дистанции электроснабжения, выявил ряд их недостатков: четырехпролетное исполнение сопряжений и, как следствие, расположение переходной зоны в подпорном узле; неправильная расстановка и регулировка струн, питающих зажимов, продольных и поперечных соединителей по длине пролетов и др.

Результаты экспериментальной проверки эластичности контактной подвески в рассматриваемом сопряжении приведены на рис. 1. На эпюре видны участки (точки 2, 5, 7) резкого увеличения эластичности в местах крепления питающих фидеров, вызванные их разрегулировкой (рис. 2), и малой эластичности (точки 9 – 15) в конструктивной переходной зоне (КПЗ).

Эксплуатация контактной подвески с подобной характеристикой эластичности при высоких скоростях движения может привести к повреждению токосъемных устройств и возникновению аварийных ситуаций.

Основными путями повышения надежности токосъема в переходных пролетах скоростных контактных подвесок являются:

- предварительный расчет эластичности контактной подвески в переходной зоне с уче-

том конкретных геометрических параметров сопряжения и оптимальной расстановки струн;

- выбор рациональных мест присоединения питающих фидеров, продольных и поперечных соединителей к контактной подвеске;

- использование специальных устройств для выравнивания эластичности в переходном пролете;

- экспериментальная проверка эластичности контактной подвески перед вводом участка в эксплуатацию.

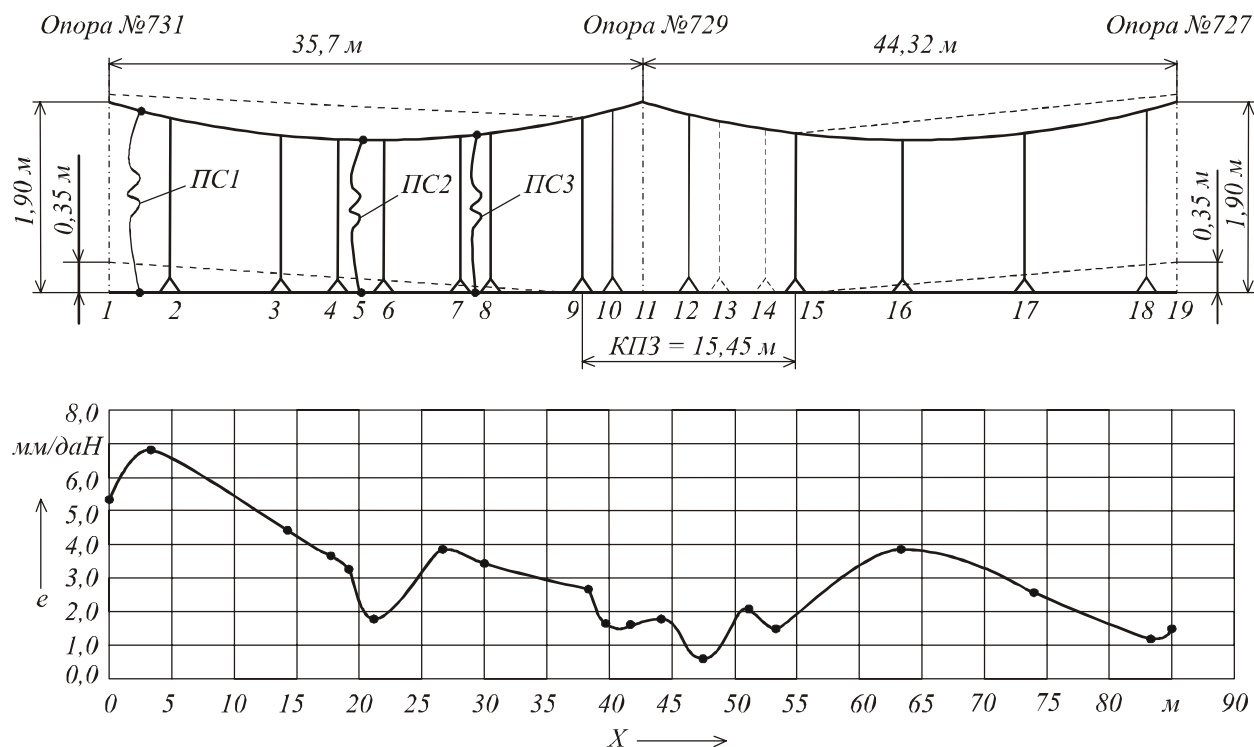


Рис. 1. Измеренная эпюра эластичности контактной подвески в четырехпролетном сопряжении

В ОмГУПСе разработан усовершенствованный метод расчета эластичности контактной подвески в переходных пролетах сопряжений, учитывающий нагрузку от различных элементов контактной сети и позволяющий с высокой точностью определять длину действительной переходной зоны контактных подвесок в зависимости от нажатия токоприемника. С его помощью осуществляется расчет длин струн в переходной зоне, а также выбор оптимального расстояния между ними, продольными и поперечными соединителями и др. Влияние рассчитанной по данной методике эластичности в переходном пролете на качество токосъема оценивается с помощью (разработанной также в ОмГУПСе) модели взаимодействия токоприемника с контактной подвеской. Результатом многочисленных расчетов являются рекомендации по монтажу и настройке контактной подвески в переходном пролете.

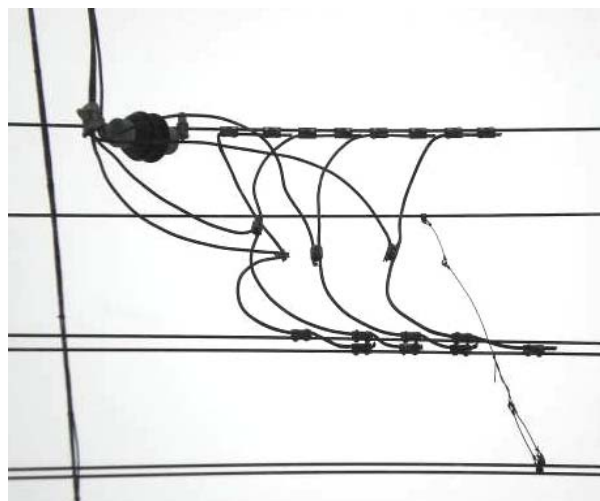


Рис. 2. Разрегулированный питающий фидер

Выравнивание эластичности в переходном пролете может быть достигнуто за счет применения различных упругих (эластичных) струн.

Наиболее рационально применять упругие струны взамен ближайших к опорам для контактной подвески с разнесенными струнами и в переходной зоне, где наблюдается самая низкая эластичность. Применение регулируемой компенсирующей струны позволяет стабилизировать контактное нажатие за счет устранения концентраций жесткости контактной подвески в переходном пролете сопряжения на заданную необходимую величину в любой точке.

Перед вводом в эксплуатацию участков контактной сети необходимо проводить измерение статических характеристик контактных подвесок с помощью специальных устройств для измерения жесткости. Одно из таких устройств – MECS-1 (рис. 3) – предложено и разработано в ОмГУПСе [2]. Оно состоит из установленного на каретке лейтера 2 основания 1, снабженного узлом позиционирования 3 относительно контактных проводов 4 и узлом нагружения 5, связанным через блочно-полиспастную систему 6 с эталонными грузами 7. Для измерения перемещений контактных проводов используется измерительная шкала 8. Узел нагружения выполнен в виде толкателя 9, расположенного под контактными проводами с возможностью вертикального перемещения в направляющих роликах 10. Узел позиционирования выполнен в виде рамы 11 с возможностью горизонтального перемещения перпендикулярно оси пути в направляющих 12, закрепленных на основании.

Методика измерения жесткости контактных подвесок с помощью указанного устройства основана на измерении величины отжатий контактных проводов при их нагружении силой, действующей вверх. Измерение жесткости производится в местах крепления зажимов фиксаторов (подопорный узел), рессорных и обычных струн, а также между рессорной и первой нерессорной струнами под зажимом крепления рессорного троса к несущему. С помощью измерительной шкалы, закрепленной на толкателе, фиксируется начальное положение проводов при нулевой нагрузке. Затем производятся замеры величины отжатий контактных проводов при нагружении их силами 150 и 300 Н (вес эталонных грузов 7,5 и 15,0 кг соответственно). Аналогично производятся замеры значения отжатий контактных проводов при их разгрузке (для отстройки от сил сухого трения в шарнирах устройства).

Полученные данные измерений жесткости контактной подвески заносятся в протокол. После этого определяется усредненное значение жесткости в каждой точке пролета и строится

кривая ее изменения в пролете, которая сравнивается с проектной. Погрешность измерений с помощью данного метода не превышает 3 %.

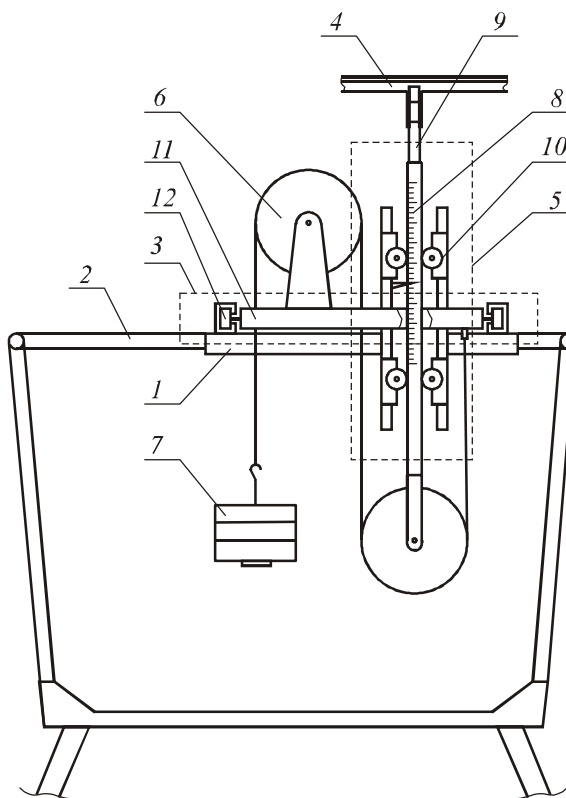


Рис. 3. Устройство для измерения жесткости контактных подвесок MECS-1

Выводы

1. Рассмотрены причины ухудшения токо-съемы в переходных пролетах сопряжений скоростных контактных подвесок.
2. Предложены пути повышения надежности токо-съемы в переходных пролетах.
3. Перед вводом в эксплуатацию участков контактной сети необходимо проводить измерение статических характеристик контактных подвесок с помощью специально разработанных устройств, предлагаемых в ОмГУПСе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети [Текст] / В. А. Вологин. – М.: Интекст, 2006. – 256 с.
2. Пат. РФ на полезную модель № 81922, МПК В 60 М 1/00. Устройство для измерения жесткости контактных подвесок [Текст] / Павлов В. М. и др. – № 2008145676/22; заявл. 19.11.2008; опубл. 10.04.2009 // Открытия. Изобретения. – 2009. – № 10.

Поступила в редколлегию 14.01.2010.
Принята к печати 20.01.2010.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТОКОСЪЕМА МОСКОВСКОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

У статті розглянуто недоліки існуючої системи знімання струму московської монорейкової транспортної системи. Запропоновано нову систему, яка відрізняється геометрією контакту. Наведено розрахунок взаємодії пропонованої системи знімання струму на основі рівнянь Лагранжа другого роду.

В статье рассмотрены недостатки существующей системы токосъема московской монорельсовой транспортной системы. Предложена новая система, отличающаяся геометрией контакта. Приведен расчет взаимодействия предлагаемой системы токосъема на основе уравнений Лагранжа второго рода.

The disadvantages of existing current collection system for the Moscow monorail transport system are considered in the article. A new system differing in the contact geometry is proposed. Also the calculation of interaction of the offered current collection system based upon the Lagrange's equations of second kind.

Первая линия монорельса между станциями метро «Тимирязевская» и «Ботанический сад» длиной 4,7 километра появилась в Москве в 2004 году [1]. Существуют планы строительства двух новых линий монорельсовой дороги. Первая ветка длиной 2,5 километра должна появиться в 2012...2013 году между метро «Теплый стан» и торговым комплексом «Славянский мир», строящемся на сорок первом километре МКАД. Вторая линия будет связывать станцию метро «Речной вокзал» с районом Ховрино на севере Москвы. Строительством веток будет заниматься ОАО «Московские монорельсовые дороги», строившее первую линию.

Система электроснабжения Московской монорельсовой транспортной системы (ММТС) представляет собой контактную систему токосъема, состоящую из жестких токопроводов охватывающего типа, с внутренними гранями которых взаимодействуют контактные элементы токоприемников, как показано на рис. 1а. В ходе анализа результатов лабораторных испытаний были выявлены недостатки системы токосъема ММТС [2]. При поперечных колебаниях и наклонах контактного элемента относительно троллея происходит уменьшение площади контакта, с образованием искрения и появлением отжигов, что значительно снижает качество токосъема.

Устранение вышеперечисленных недостатков может быть достигнуто за счет изменения геометрической формы контактных пар, а следовательно, – контактной поверхности. Указанное техническое решение (Пат. №. 78461 на полезную модель) реализовано в Омском государственном университете путей сообщения

(ОмГУПС). Жесткий токопровод предлагаемой системы токосъема представляет собой половину трубы, с внутренней поверхностью которой взаимодействует контактный элемент (см. рис. 1б). Поперечное сечение рабочей поверхности контактного элемента представляет собой дугу меньшего радиуса по сравнению с внутренней поверхностью токопровода.

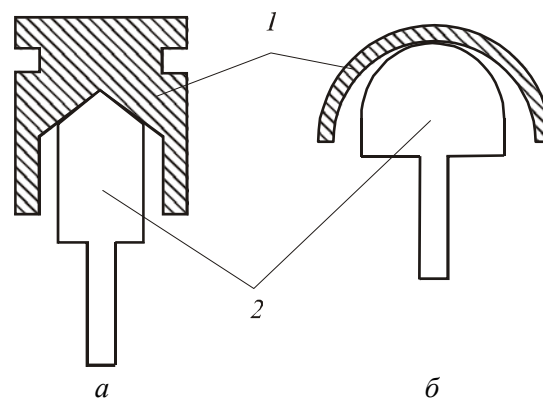


Рис. 1. Системы токосъема монорельсового транспорта (а – существующая; б – предлагаемая): 1 – токопровод; 2 – контактный элемент

Преимуществом предлагаемой системы также является улучшенные динамические характеристики токоприемников за счет снижения стрелы провеса токопровода, имеющего меньшую массу.

Для оценки работоспособности токоприемника существуют различные методы для расчета взаимодействия токоприемников с контактными подвесками [3, 4]. На стадии проектирования новых устройств чаще используют упрощенные методы, в частности, модели с малым количеством степеней свободы, с

внешним гармоническим воздействием со стороны токопровода (синусоидальной формы).

Основной целью расчетов является определение контактного нажатия $P_{кт}$, как основного показателя качества токосъема. Под динамической характеристикой понимается зависимость максимального и минимального контактного нажатия в пролете от скорости движения подвижного состава (частоты вертикальных колебаний контактного элемента токоприемника).

Расчетная схема изображена на рис. 2. В расчетах были приняты следующие допущения: токопровод принимается абсолютно жестким; траектория провисания токопровода выбирается синусоидальной; амплитуды горизонтальных и вертикальных перемещений основания токоприемника равны нулю (влияние экипажа отсутствует); отрывы токосъемного элемента от токопровода отсутствуют; вязкое трение в шарнирах токоприемника отсутствует; аэродинамическое воздействие на токоприемник отсутствует; токопровод не имеет разрегулированных стыковых соединений; перераспределение нажатия между сбегающей и набегающей части контактного элемента отсутствует.

Расчетная схема (см. рис. 2) имеет три степени свободы. Для определения положения элементов токоприемника необходимы три обобщенные координаты: H – вертикальное перемещение контактного элемента; α – угол поворота рычагов токоприемника в вертикальной плоскости; β – угол поворота рычагов в горизонтальной плоскости.

Для рассматриваемой системы уравнения Лагранжа второго рода имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{H}} \right) - \frac{\partial T}{\partial H} + \frac{\partial \Pi}{\partial H} = Q_H; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha} + \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha} = Q_\alpha; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \beta} + \frac{\partial \Pi}{\partial \beta} = Q_\beta, \end{cases} \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия механической системы; Π – потенциальная энергия; Q_H – обобщенная сила по обобщенной координате H ; Q_α – обобщенная сила по обобщенной координате α ; Q_β – обобщенная сила по обобщенной координате β .

Ось H направлена вертикально вверх. Ось α – перпендикулярно оси вращения рычагов в вертикальной плоскости. Ось β – горизонтальной плоскости.

К системе приложены следующие силы: P_1 – вес нижнего рычага, P_2 – верхнего рычага, P_3 – вес каретки, P_4 – вес токопроводящего кабеля. P_5 – вес нажимной пружины, P_6 – вес пружины вторичного подрессоривания, P_7 – вес контактного элемента, $P_{кт}$ – возмущающая сила, приводящая в движение контактный элемент, $P_{т.с}$ – сила трения скольжения контактного элемента о поверхность токопровода, W_H – сухое трение при перемещении контактного элемента относительно каретки, $M_{w\alpha}$ и $M_{w\beta}$ – сухое трение в шарнирах токоприемника по осям α и β , соответственно.

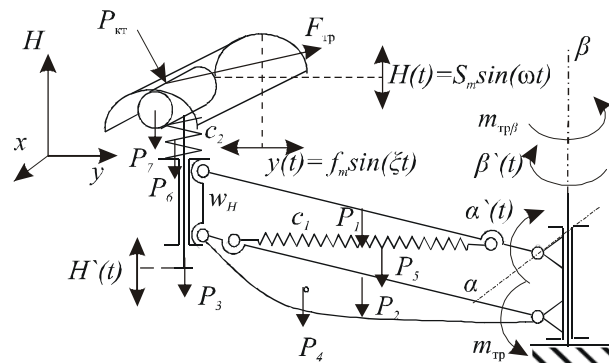


Рис. 2. Расчетная схема рычажного токоприемника с контактным элементом С-образной формы

Кинетическая энергия системы рассчитывается согласно следующему уравнению:

$$T = \sum_{i=1}^7 T_i, \quad (2)$$

где T_i – кинетическая энергия i -го элемента токоприемника.

Верхняя и нижняя штанги токоприемника участвуют в сложном движении: переносном вращательном вокруг вертикальной оси основания токоприемника (см. рис. 2) с угловой скоростью $\dot{\beta}$ и относительной вращательной вокруг горизонтальной оси токоприемника, перпендикулярной к плоскости рисунка, с угловой скоростью $\dot{\alpha}$.

Кинетическая энергия верхней штанги рассчитывается по формуле:

$$T_1 = \frac{1}{2} (J_{1\alpha} \dot{\alpha}^2 + J_{1\beta} \dot{\beta}^2), \quad (3)$$

где $J_{1\alpha}$ – момент инерции верхней штанги токоприемника в вертикальной плоскости вращения;

$$J_{1\alpha} = \frac{1}{3} m_1 l^2; \quad (4)$$

$J_{1\beta}$ – момент инерции верхней штанги токоприемника в горизонтальной плоскости вращения:

$$J_{1\beta} = \frac{1}{3} m_1 (l \cdot \cos \alpha)^2. \quad (5)$$

Кинетическая энергия остальных элементов вычисляется аналогично. Более сложное движение имеют контактный элемент и пружина каретки, перемещающиеся со скоростью:

$$V_7 = \sqrt{\dot{H}^2 + l^2 \cdot \dot{\alpha}^2 \cdot \sin^2 \alpha + l^2 \cdot \dot{\beta}^2 \cdot \cos^2 \alpha}. \quad (6)$$

Потенциальная энергия рассчитывается по следующему выражению:

$$\Pi = \sum_{i=1}^7 \Pi_i + \sum_{i=1}^2 \Pi_{\text{упр},i}, \quad (7)$$

где Π_i – потенциальная энергия i -го элемента конструкции токоприемника в поле сил тяжести; $\Pi_{\text{упр},i}$ – потенциальная энергия i -ой пружины токоприемника в поле сил упругости.

Обобщенная сила для токосъемного элемента включает в себя силу контактного нажатия $P_{\text{кт}}$, вектор которой показан на рис. 3.

Сила $P_{\text{кт}}$ является результирующей двух сил:

$$P_{\text{кт}} = \sqrt{P_{\text{кт}Y}^2 + P_{\text{кт}H}^2}, \quad (8)$$

где $P_{\text{кт}H}$ – вертикальная сила, приводящая в движение контактный элемент по вертикали; $P_{\text{кт}Y}$ – горизонтальная.

Из рис. 3а видно:

$$P_{\text{кт}H} = P_{\text{кт}} \cdot \cos \varphi; \quad (9)$$

$$P_{\text{кт}Y} = P_{\text{кт}} \cdot \sin \varphi. \quad (10)$$

Негладкие поверхности токопровода и контактного элемента не являются идеальной связью. Сила трения скольжения $F_{\text{т.с}}$ направлена в сторону, противоположную движению контактного элемента, и равна по модулю:

$$F_{\text{т.с}} = f \cdot N = f \cdot P_{\text{кт}}, \quad (11)$$

где f – коэффициент трения скольжения. Геометрически (см. рис. 3) результирующая сила трения скольжения $F_{\text{т.с}}$ равна сумме двух сил:

$$F_{\text{т.с}} = \sqrt{F_{\text{т.с}X}^2 + F_{\text{т.с}YH}^2}, \quad (12)$$

где $F_{\text{т.с}X}$ – продольная сила трения скольжения, возникающая в результате движения подвижного состава; $F_{\text{т.с}YH}$ – поперечная сила трения скольжения в результате перемещения контактного элемента относительно токопровода.

В расчете принята возможность учета сил трения (вдоль и поперек токопровода) с разными коэффициентами f : μ – вдоль токопровода, η – поперек; с учетом последнего:

$$F_{\text{т.с}X} = \mu \cdot P_{\text{кт}}; \quad (13)$$

$$F_{\text{т.с}YH} = \eta \cdot P_{\text{кт}}. \quad (14)$$

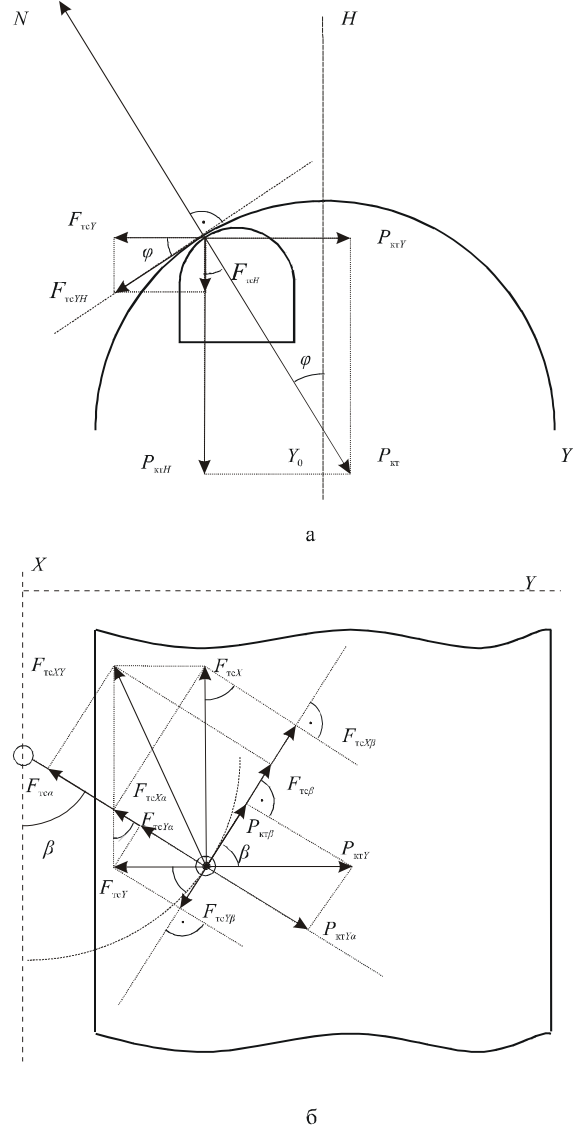


Рис. 3. Расчетная схема для определения обобщенных сил

Проекция продольной силы трения скольжения $F_{\text{т.с}X}$ на касательную к круговой траектории (см. рис. 3б), обобщенной координаты β :

$$F_{\text{т.с}X\beta} = \mu \cdot P_{\text{кт}} \cdot \sin \beta. \quad (15)$$

Эта же сила, как показано на рис. 4, воздействует на штанги токоприемника по обобщенной координате α , и ее проекция равна:

$$F_{\text{т.с}X\alpha} = \mu \cdot P_{\text{кт}} \cdot \cos \beta. \quad (16)$$

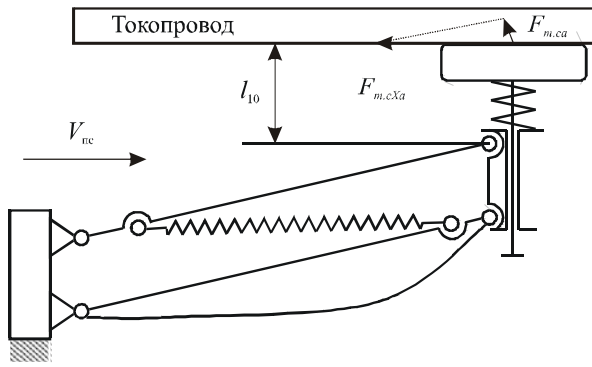


Рис. 4. Действие силы трения скольжения на первый по ходу движения подвижного состава токоприемник

Силу $F_{т.сYH}$ можно разложить на геометрическую сумму сил $F_{т.сY}$ и $F_{т.сH}$:

$$F_{т.сYH} = \sqrt{F_{т.сY}^2 + F_{т.сH}^2}, \quad (17)$$

где $F_{т.сY}$ – сила трения скольжения, действующая в горизонтальной плоскости; $F_{т.сH}$ – сила трения скольжения, действующая на контактный элемент в вертикальной плоскости.

Из рис. 3а видно:

$$F_{т.сH} = F_{т.сYH} \cdot \sin \varphi; \quad (18)$$

$$F_{т.сY} = F_{т.сYH} \cdot \cos \varphi. \quad (19)$$

Проекция силы $F_{т.сY}$ на касательную к траектории движения центра контактного элемента является, аналогично $P_{кты}$ (см. рис. 3б), силой, действующей на штанги по обобщенной координате β . С учетом вышесказанного проекция:

$$F_{т.сY\beta} = F_{т.сY} \cdot \cos \beta. \quad (20)$$

Эта же сила воздействует на штанги токоприемника по обобщенной координате α , и ее проекция равна:

$$F_{т.сY\alpha} = F_{т.сY} \cdot \sin \beta. \quad (21)$$

Результирующие силы трения скольжения, действующие по обобщенным координатам α и β (см. рис. 3б), соответственно:

$$F_{т.с\alpha} = F_{т.с\chi\alpha} + F_{т.сY\alpha}; \quad (22)$$

$$F_{т.с\beta} = F_{т.с\chi\beta} - F_{т.сY\beta}. \quad (23)$$

Сумма работ задаваемых сил и сил трения скольжения $F_{т.с}$ на возможном перемещении точек системы, соответствующем обобщенному возможному перемещению, например $\delta\alpha$, соответственно равна:

$$\Sigma \delta A_{\alpha} = \delta A_{\alpha}(M_{\omega\alpha}) +$$

$$+ \delta A_{\alpha}(P_{кты\alpha}) + \delta A_{\alpha}(F_{т.с\alpha}). \quad (24)$$

Обобщенные силы Q_i являются коэффициентами пропорциональности, стоящими при δi , в выражениях, определяющих δA .

После определения частных производных и их подстановки в систему уравнений (1) были получены итоговые уравнения Лагранжа, решая которые можно получить функции углов наклона рычагов токоприемника α и β в функции времени. Зная эту функцию, на следующем шаге рассчитывается кривая контактного нажатия, по которой находится ее минимум и максимум для конкретной скорости. Получив их значения для определенного интервала скоростей, строится динамическая характеристика токоприемника.

В расчете принято допущение о безотрывном движении токосяемного элемента по токопроводу, т.е. силы, прижимающие токосяемный элемент к токопроводу, всегда больше сил, стремящихся оторвать его от токопровода.

Выражение для движения контактного элемента, показанного на рис. 5, выводится из уравнения окружности:

$$(H - H_c)^2 + (Y - Y_c)^2 = r^2, \quad (25)$$

где $(H_c; Y_c)$ – координата центра окружности, т.е. центра токопровода, с радиусом r ; $(H; Y)$ – координаты точки принадлежащей окружности, т.е. положение центра контактного элемента относительно токопровода.

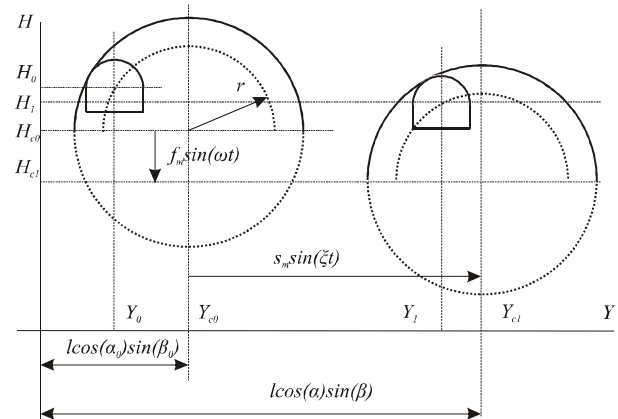


Рис. 5. Расчетная схема для определения движения контактного элемента

Координата H_c является функцией, которая выражает стрелу провеса токопровода, имеющую в расчете синусоидальный вид:

$$H_c = H_{c0} + f_m \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ), \quad (26)$$

где H_{c0} – исходная координата высоты центра токопровода относительно принятой системы

отсчета; f_m – амплитуда вертикальных колебаний токопровода; t – время; ω – частота вертикальных колебаний токопровода:

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{V_{\text{пс}}}{l_{\text{пр}}}, \quad (27)$$

$V_{\text{пс}}$ – скорость движения подвижного состава; $l_{\text{пр}}$ – длина пролета токопровода.

Координата Y_c является функцией, которая выражает величину горизонтального отклонения токопровода, имеющую в данном расчете синусоидальный вид:

$$Y_c = Y_{c0} + s_m \cdot \sin(\xi \cdot t), \quad (28)$$

где s_m – амплитуда горизонтальных колебаний токопровода; Y_{c0} – исходное положение центра токопровода в горизонтальной плоскости (см. рис. 5), которое может быть выражено следующим образом:

$$Y_{c0} = l \cdot \cos \alpha_0 \cdot \sin \beta_0; \quad (29)$$

ξ – частота горизонтальных колебаний токопровода:

$$\xi = 2\pi \cdot \frac{V}{n \cdot l}, \quad (30)$$

n – число отклоняющихся в одну сторону пролетов.

Промежуточное положение контактного элемента в горизонтальной плоскости:

$$Y = l \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta. \quad (31)$$

С учетом вышесказанного выражение для движения контактного элемента (25) примет вид:

$$H = H_{c0} + f_m \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ) + \sqrt{R^2 - [l \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta - Y_c]^2}. \quad (32)$$

Скорость и ускорение перемещения токосъемного элемента рассчитывается как первая и вторая производные формулы (32), соответственно.

Расчет полученной системы уравнений выполнен в программе MathCAD. Для нижеследующих исходных данных построена кривая контактного нажатия, показанная на рис. 6:

$f_m = 1$ мм; $s_m = 1$ см; $V_{\text{пс}} = 20$ м/с; $l_{\text{пр}} = 2$ м.

Данная математическая модель позволяет учесть горизонтальные колебания, имеющие место при данной форме контактной поверхности. Учет обобщенной координаты β дает возможность отслеживать перемещение точки то-

косъема поперек поверхности взаимодействия пары, оценивать силу контактного нажатия как сумму горизонтального (см. рис. 6) и вертикального воздействия, так и отдельно.

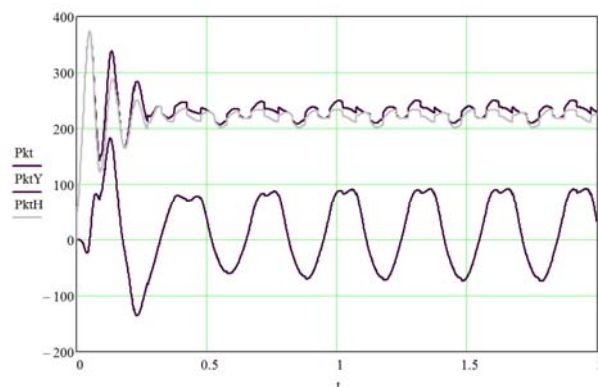


Рис. 6. Фрагмент кривой контактного нажатия:

$P_{\text{кт}}$ – результирующее нажатие;
 $P_{\text{ктY}}$ – по горизонтали;
 $P_{\text{ктH}}$ – по вертикали

Линейный стенд для исследования взаимодействия токоприемников с жестким токопроводом С-образной формы спроектирован и реализован в лаборатории «Контактные сети, линии электропередачи и устройства токосъема» ОмГУПС. В настоящее время проводятся экспериментальные исследования для проверки математической модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоров, О. А. Токосъем в монорельсовых системах [Текст] / О. А. Сидоров // Мир транспорта. – 2004. – № 3. – С. 30-39.
2. Сидоров, О. А. Совершенствование систем токосъема монорельсовых транспортных систем [Текст] / О. А. Сидоров, В. В. Томилов // Современная техника и технологии : сб. тр. XIV Межд. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых (Труды в 3-х т.) – Т. 1. – Томск, 2008.
3. Сидоров, О. А. Моделирование взаимодействия токоприемника с жестким токопроводом монорельсовой транспортной системы [Текст] / О. А. Сидоров, В. В. Томилов // Науч.-техн. проблемы транспорта, промышленности и образования : тр. Всерос. науч. конф. (в 6 томах). – Т. 6. – Хабаровск: ДВГУПС, 2008. – С. 256-260.
4. Сидоров, О. А. Расчет динамики взаимодействия токоприемника и жесткого токопровода при низких температурах [Текст] / О. А. Сидоров, В. В. Томилов // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2009» (в 3 ч.) – Ч. 3. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 281-283.

Поступила в редколлегию 14.01.2010.

Принята к печати 21.01.2010.

О. А. СИДОРОВ, С. А. СТУПАКОВ, И. Л. САЛЯ (ОмГУПС, Омск, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

У статті представлено результати експериментальних досліджень і розрахунку зносу контактних пар пристроїв струмознімання електричного транспорту.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований и расчета износа контактных пар устройств токосъема электрического транспорта.

In the article the results of experimental research and calculation of wear of current collector system elements of electric transport are presented.

Обеспечение надежной и экономичной передачи электроэнергии подвижному составу является одной из главных проблем развития электрического транспорта и предполагает совершенствование устройств токосъема. Приоритетным направлением совершенствования устройств токосъема является увеличение их срока службы путем выбора таких материалов контактной пары, которые должны отвечать как требованиям экологического характера, так и требованиям качества токосъема. Метод оценки качества токосъема предусматривает определение двух основных показателей – надежности и экономичности токосъема [1], которые в свою очередь предполагают снижение износа контактирующих элементов при соблюдении и других ограничений.

В Омском государственном университете путей сообщения разработана методика исследования износа контактных пар устройств токосъема, которая реализуется лабораторным комплексом, включающим специализированные установки возвратно-поступательного, вращательного и ударного типов. Лабораторный комплекс позволяет осуществлять износостатические испытания устройств токосъема магистрального и монорельсового электрического транспорта в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта при изменении в широком диапазоне изгибной и контактной нагрузок с учетом протекания электрического тока в контакте.

Установка возвратно-поступательного типа (рис. 1) используется для исследования контактных пар со сложной геометрической поверхностью, характерных для систем токосъема монорельсового транспорта, и позволяет про-

водить исследование износа контактных элементов при условии протекания в зоне контакта как постоянного, так и переменного тока. Таким образом, установка позволяет исследовать модели трибосистемы «контактный элемент – токопровод», созданные при соблюдении критериев подобия и условий контактирования, нагружения и геометрической формы пары трения.

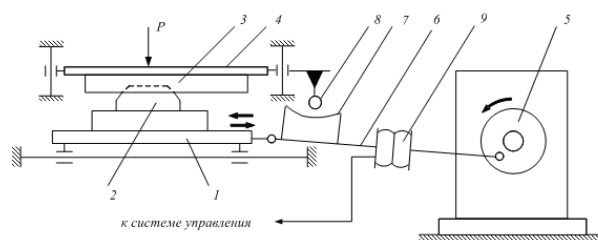


Рис. 1. Схема установки возвратно-поступательного типа

Механическая часть комплекса включает в себя станину, на которой установлены направляющие, сочлененные со скользящими и закрепленной на них подвижной кареткой 1. На каретке закреплен контактный элемент 2, взаимодействующий с токопроводом 3, закрепленным на изоляционной пластине 4. Возвратно-поступательное перемещение каретки 1 осуществляется приводом вращения 5, связанным тягой 6 с кареткой.

Кроме возвратно-поступательного движения установка позволяет проводить исследования при одностороннем движении, т.е. имитировать реальный процесс движения в одном направлении. Процесс движения в одну сторону реализуется с помощью копира 7, который устанавливается на тяге. При движении ролика 8 по поверхности копира токопровод поднимается, и

половину периода вращения привода элементы трибосистемы не взаимодействуют.

Исследование процессов в области неустойчивого скольжения элементов контактной пары требует учитывать диссипационные составляющие в нормальном и касательном направлении к поверхностям трения. Диссипационные составляющие силы трения в касательном направлении к поверхностям трения в установке реализованы пневматическим резинокордным элементом 9, вмонтированным в тягу 6 [2].

Методика испытаний включает варьирование следующих параметров для каждой пары контактных материалов: контактного давления; скорости относительного движения элементов пары трения; режимов движения (возвратно-поступательное и однонаправленное); полярности и силы электрического тока; параметров окружающей среды (температуры, влажности, запыленности) и других. Кроме этого, конструктивные особенности установки возвратно-поступательного типа позволяют реализовать методику исследования процессов удара при взаимодействии элементов контактной пары, в том числе и трения при ударе.

Результаты исследований представлены на рис. 2 – 5.

Дальнейшие исследования контактных пар системы токосъема монорельсового транспорта выполнялись с использованием математических моделей, которые позволяют оценить как механическую составляющую износа, так и воздействие электрического тока.

При моделировании механического износа, в соответствии с положениями теории подобия, в один критерий были объединены следующие факторы: плотность, твердость, коэффициент линейного расширения, удельная теплоемкость, теплопроводность [3, 4].

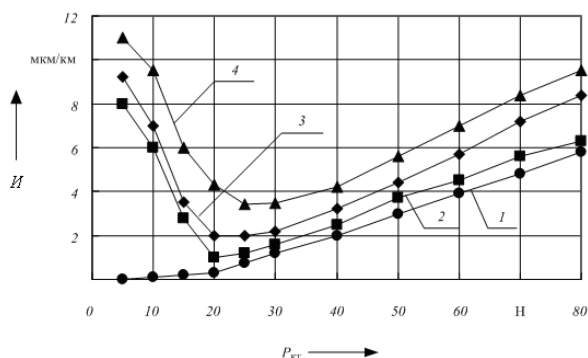


Рис. 2. Зависимость износа контактного элемента от силы тока в контакте:
1 – $I = 0$ А; 2 – $I = 100$ А; 3 – $I = 200$ А; 4 – $I = 300$ А

Метод отсеивания несущественных факторов позволил определить следующую группу

факторов для составления модели: нагрузку на образец P , Н; радиус сферической поверхности r , м; скорость скольжения v , м/с; время испытания t , с; содержание меди в материале контактного элемента M , %; твердость материалов токопровода и контактного элемента H_1 и H_2 ; теплопроводность материала контактного элемента λ_1 , Вт; удельную теплоемкость токопровода c_2 , Вт. В качестве параметра оптимизации принят износ массы I_M .

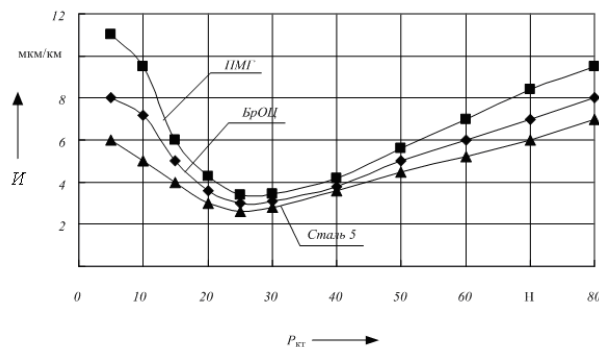


Рис. 3. Зависимость износа контактного элемента из различных материалов

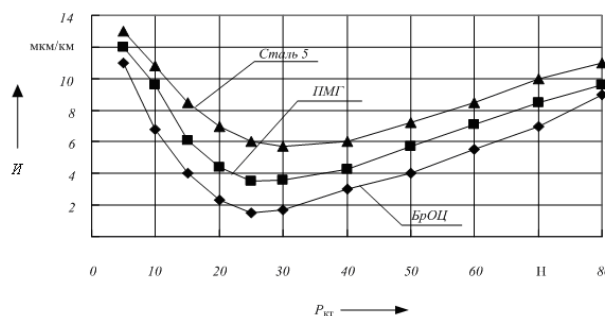


Рис. 4. Влияние на износ контактного элемента влажности окружающей среды

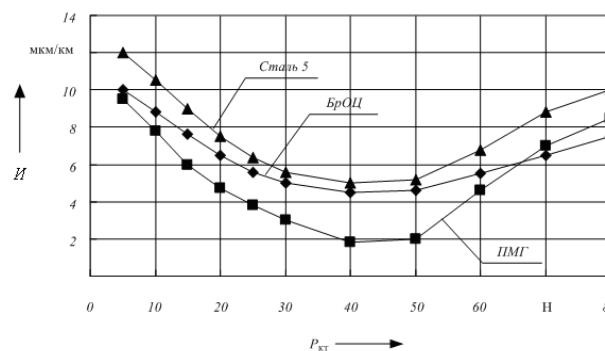


Рис. 5. Влияние на износ контактного элемента смены полярности тока в контакте

Функциональная зависимость между параметром оптимизации и факторами модели имеет вид:

$$I_M = \Psi_1(P; A; v; t; M; H_1/H_2; \lambda_1; c_2), \quad (1)$$

где H_1/H_2 – безразмерный симплекс.

В соответствии с положениями теории подобия, получим уравнение подобия:

$$\frac{I_M}{P} = \psi_3 \times \left[\left(\frac{P t c_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \times \left(\frac{v t}{r} \right)^{\beta_m} \times \right. \\ \left. \times (M)^{\gamma_m} \times \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m} \right]. \quad (2)$$

Из (2) получим расчетное уравнение:

$$\frac{I_M}{P} = a_0 \times \left(\frac{P t c_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \times \left(\frac{v t}{r} \right)^{\beta_m} \times \\ \times (M)^{\gamma_m} \times \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m}, \quad (3)$$

где a_0 – постоянная, отражающая влияние на процесс неучтенных факторов;

$\alpha_m, \beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m$ – коэффициенты, определяемые экспериментально;

$\frac{I_M}{P}$ – симплекс (отношение износа массы контактного элемента к давлению);

$\frac{P t c_2}{r^2 \lambda_1}$ – комплекс (мера отношения удельной мощности трения к способности токопровода накапливать, а контактного элемента передавать тепло);

$\frac{v t}{r}$ – отношение пути трения к радиусу контактного элемента.

Расчетное уравнение (3) можно представить в виде:

$$y = a_0 X_1^{\alpha_m} X_2^{\beta_m} X_3^{\gamma_m} X_4^{\varepsilon_m}, \quad (4)$$

где X_1, X_2, X_3, X_4 – независимые переменные (факторы).

После логарифмирования уравнение (4) имеет вид:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4, \quad (5)$$

где $\hat{y}$ – оценка параметра оптимизации;

b_1, b_2, b_3, b_4 – оценки коэффициентов.

Для определения коэффициентов уравнения в соответствии с матрицей планирования проведен полный факторный эксперимент на физической модели.

Для определения коэффициентов уравнения регрессии была использована формула:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} \ln Y_{iu}, \quad (6)$$

где $i = 0 \dots 4$ – номер фактора; $\ln Y_{iu}$ – отклик в опытах в точке u .

В результате вычислений получено уравнение:

$$\ln y = -8,376 + 0,425 \ln X_1 - 0,694 \ln X_2 + \\ + 0,53 \ln X_3 + 0,769 \ln X_4. \quad (7)$$

Статистический анализ оценки достоверности уравнения подтвердил выполнение гипотезы адекватности модели.

Выполняем потенцирование уравнения (7):

$$I_M = P \times \left[e^{-8,376} \left(\frac{P t c_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{0,425} \times \left(\frac{v t}{r} \right)^{-0,694} \times \right. \\ \left. \times (M)^{0,53} \times \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{0,769} \right]. \quad (8)$$

На основании анализа уравнения (8) можно сделать вывод, что наиболее значительное влияние на износ оказывают механические свойства пары трения, а наименее значительный вклад в процесс изнашивания вносит параметр, учитывающий изменение нагрузки.

Влияние электрической нагрузки может рассматриваться как дополнительный внешний параметр трибосистемы «контактный элемент – токопровод», влияющий на все характеристики скользящего контакта. Общий электрический износ можно определить по формуле [5]:

$$W = sP \left(W_0 + W_1 \sqrt{\frac{I}{10}} \right). \quad (9)$$

Процесс изнашивания контактных пар при протекании через контакт тока заключается во фриттинге пленок поверхностей и электролизе. Объем W_a испарившейся электрической дуги пропорционален количеству электричества Q , которое прошло через нее, и определяется по формуле

$$W_a = \gamma Q, \quad (10)$$

где γ – константа материала.

Процесс изменения шероховатости поверхностей является функцией Q/s , где s – длина пути. С учетом вышесказанного перепишем (9) в следующем виде:

$$W = \gamma Q + sP \left(W_0 + W_1 \sqrt{\frac{I}{10}} + g \sqrt{\frac{Q}{s}} \right), \quad (11)$$

где g и W_1 – переменные материала, которые зависят от контактного нажатия.

Преобразуем выражение (11) к следующему виду:

$$W = \left[\gamma Q + \frac{s P_{\text{кт}}}{9,81} \times \left(W_0 + \frac{k_1}{P_{\text{кт}}^{k_2}} \left(\sqrt{\frac{I}{10}} + k_3 \sqrt{\frac{Q}{s}} \right) \right) \right] \times \rho \cdot 10^{-6}, \quad (12)$$

где k_1 , k_2 и k_3 – коэффициенты, определяемые экспериментально;

$P_{\text{кт}}$ – контактное нажатие, Н;

ρ – плотность материала, кг/м³.

Износ контактных пар от воздействия электрического тока:

$$W = \Psi_2(\gamma; Q; s; g; W_1; k_1; k_2; P_{\text{кт}}). \quad (13)$$

Окончательное уравнение для определения износа элементов контактной пары устройств токосъема с учетом (9) и (13):

$$I_{\Sigma} = \begin{cases} W, & \text{если } P_{\text{кт}} \leq P_{\text{опт}}; \\ I_{\text{м}} \cdot v, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (14)$$

На рис. 6 – 8 представлены зависимости износа контактного элемента, полученные в результате эксперимента, и результаты расчета.

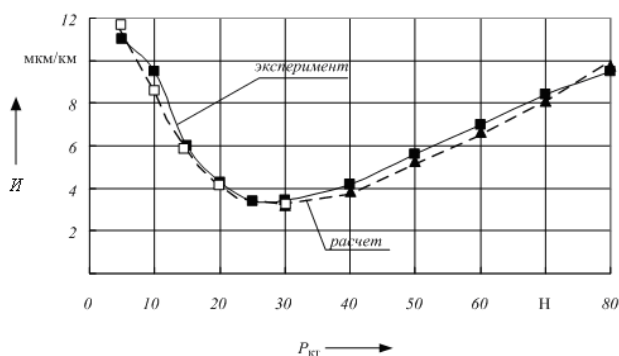


Рис. 6. Сравнение экспериментальных и расчетных данных для материала контактного элемента ПМГ

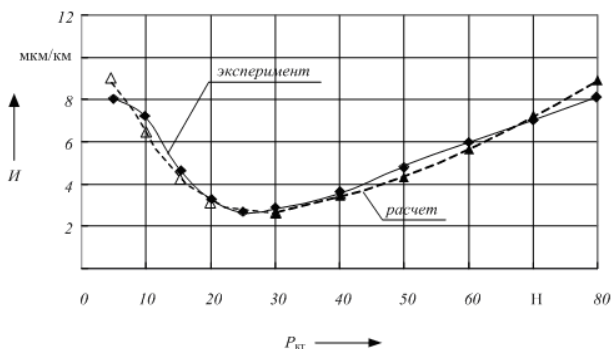


Рис. 7. Сравнение экспериментальных и расчетных данных для материала контактного элемента БрОЦ

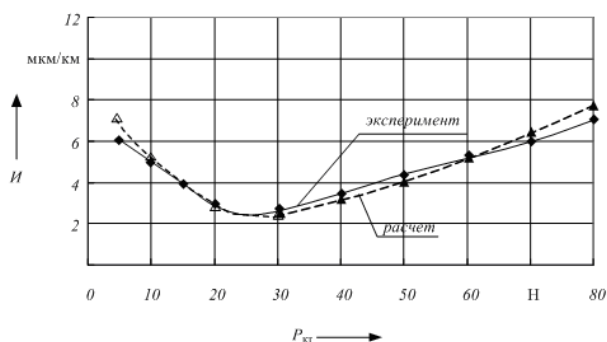


Рис. 8. Сравнение экспериментальных и расчетных данных для стального контактного элемента

Выводы

1) В ОмГУПС разработана методика экспериментальных исследований износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта.

2) Результаты исследований использованы для оптимального выбора материалов контактных пар устройств токосъема монорельсовой системы ОАО «Московские монорельсовые дороги».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоров, О. А. Методы исследования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта [Текст] : монография / О. А. Сидоров, С. А. Ступаков. – Омск, 2009. – 155 с.
2. Патент на полезную модель № 82444. МПК В60L 3/12. Устройство для исследования скользящего контакта между токоприемником и токопроводом [Текст] / О. А. Сидоров и др. – Заявка № 2008149393. – Заявл. 15.12.2008, Бюл. № 12. – 2009.
3. Моделирование трения и изнашивания в машинах [Текст] / Э. Д. Браун и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
4. Гаркунов, Д. Н. Триботехника [Текст] : учебник / Д. Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
5. Хольм, Р. Электрические контакты [Текст] / Р. Хольм. – М.: Иностранная литература, 1961. – 480 с.

Поступила в редколлегию 18.01.2010.

Принята к печати 21.01.2010.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЛІНІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

У статті розглянуто методичні аспекти забезпечення електромагнітної сумісності електрифікованих ліній постійного струму.

В статье рассмотрены методические аспекты обеспечения электромагнитной совместимости электрифицированных линий постоянного тока.

The methodical aspects of providing electromagnetic compatibility of electrified direct-current lines are discussed in this article.

Вступ

Успішне вирішення науково-технічних проблем при впровадженні та експлуатації електрифікованих ліній постійного струму, в тому числі й підвищеної напруги, неможливе без вирішення проблеми електромагнітної сумісності (ЕМС) із суміжними низькоенергетичними системами залізничного транспорту та із системами зовнішнього електропостачання (СЗЕ). Забезпечення необхідного рівня ЕМС системи тягового електропостачання постійного струму (СТЕ) повинне здійснюватись застосуванням необхідних технічно можливих заходів при розробці та виготовленні обладнання і комплектуючих виробів, проектуванні та побудові СТЕ на базі обґрунтованого вибору її конфігурації і параметрів та раціональних схем підключення до системи зовнішнього електропостачання. Розглядаючи ЕМС як один із показників якості функціонування СТЕ, необхідно охоплювати весь комплекс технічних засобів, котрі задіяні у процесі передачі та споживання електроенергії. Зважаючи на широке впровадження на залізничному транспорті різноманітних мікропроцесорних пристроїв автоматики і телемеханіки, релейного захисту, кодування і передачі інформації, вирішення проблеми ЕМС набуває вирішального значення для забезпечення безперебійного та надійного функціонування залізничного транспорту.

Метою роботи є формування методологічно-наукових підходів до розрахунку та забезпечення електромагнітної сумісності тягового електропостачання із суміжними пристроями.

Викладення основного матеріалу

СТЕ представляє собою складну електродинамічну розподілену систему, яка характеризується стохастичним характером зміни параметрів функціонування, змінними станами якого є напруги у вузлах схем, потоки реактивної та активної потужності, струми фідерів, контактної підвіски та рейкової мережі. Ці параметри змінюються у просторі та часі, змінюючи електромагнітну обстановку у системі «СТЕ – суміжні пристрої».

При аналізі ЕМС пари «СТЕ – суміжні пристрої» необхідно розглядати два напрямки забезпечення ЕМС: зовнішня та внутрішня ЕМС СТЕ (рис. 1). В свою чергу, наприклад, при розгляді взаємодії інтервального керування рухом поїздів із СТЕ тягова підстанція (ТП) буде виступати по відношенню до неї зовнішньою системою. Звідси, можна вести мову про багаторівневий та ієрархічний принципи побудови забезпечення ЕМС СТЕ, де необхідно виділяти також і горизонтальні рівні (паралельні, послідовно-паралельні та послідовні структури взаємодії).

ЕМС I-го рівня обумовлена ступенем електромагнітної взаємодії СЗЕ та СТЕ і характеризується, в першу чергу, якістю електричної енергії на входних шинах тягової підстанції. Несиметрична та несинусоїдальна напруга, підведена до затисків тягового перетворювача, призводить до генерації в живлячу мережу вищих гармонік струму, на рівень яких також впливають спорадичні зміни тягового навантаження та флуктуації параметрів управління випрямлячем. Звідси, і СЗЕ, і ТП виступають од-

ночасно як генераторами, так і рецепторами електромагнітних завад (ЕМЗ).

Розглядаючи внутрішню ЕМС СТЕ (2... n рівні), прийmemo до уваги, що система II-го рівня складається з декількох підсистем різних енергетичних рівнів, розподілених у просторі та по довжині фідерної зони, а їх взаємодія змінюється у часі. Звідси, можна стверджувати про наявність поперечної та поздовжньої складових ЕМС у СТЕ. Кожна з підсистем 1... m може складатися зі статичних та динамічних елементів, мати різні механізми зв'язку, виступати як

генераторами, так і рецепторами ЕМЗ різних типів у різному частотному діапазоні. У кожній з підсистем можуть застосовуватись різні засоби забезпечення ЕМС. Узагальнена структура проблеми ЕМС у СТЕ представлена на рис. 2. Його аналіз дає уяву про складність взаємодії складових ЕМС СТЕ. В умовах експлуатації СТЕ чинники ЕМС підсистем переплітаються та частково дублюють один одного, відрізняючись джерелами, механізмами зв'язку та типами електромагнітних завад (ЕМЗ).



Рис. 1. Рівні забезпечення електромагнітної сумісності тягового електропостачання

Зазначимо, що існує багато варіантів класифікації ЕМЗ [1 – 6] за сукупністю ознак, які можуть застосовуватись для конкретного випадку. Необхідно також приймати до уваги значимість того чи іншого виду завад, яка визначається низкою факторів: тривалістю, амплітудою, частотним діапазоном, періодичністю появи і т.д. Беручи до уваги вищевикладене, доцільно розглядати ЕМЗ у наступних підсистемах: ТП – СЗЕ; ТП – районне навантаження та нетягові споживачі; ТП – тягова мережа (ТМ); ТМ – ЕРС; контактна мережа – рейкова мережа; ЕРС – рейкова мережа; ТМ – суміжні пристрої; лінії АБ і ПЕ – пристрої залізничної автоматики. Кожна з цих підсистем характеризується своїми типовими ЕМЗ, які необхідно враховувати при розгляді проблеми ЕМС у СТЕ в цілому. Цей фактор визначає необхідність комплексного підходу та спонукає до застосування різних методів розрахунку ЕМС підсистем різного рівня.

Розрахунок електромагнітних впливів у лінійному ланцюзі в загальному випадку зводиться до вирішення систем лінійних диференціальних рівнянь, складених на підставі законів Кірхгофа або на основі методів похідних із законів Кірхгофа, контурних струмів, вузлових потенціалів, змінних стану [7, 8]. Для визначення спектрального складу мережевої і випрямленої напруги і струму перетворювальних агрегатів застосовуються аналітичні та чисельно-аналітичні методи, використовувані для аналізу процесів у вентильних схемах, які умо-

вно можна розділити на точні та наближені [9]. В якості опису базової моделі вентильної схеми широко застосовується метод змінних станів (змішаний координатний базис), при якому базова модель може бути отримана у вигляді системи диференціальних рівнянь в нормальній формі, необхідній для використання явних формул чисельного інтегрування. Для опису також використовують неявні методи інтеграції, які не потребують диференціальних рівнянь у нормальній формі та підвищують точність розрахунку, а рівняння математичної моделі схеми представляється у вигляді системи алгебраїчних рівнянь.

Для аналізу енергообмінних процесів нелінійних електричних ланцюгів на сьогодні широко використовуються матрично-топологічні методи, теорія обмінних характеристик, статистичні методи, метод фазних координат, вейвлет-аналіз, спектральний аналіз, інформаційний аналіз, метод структурних орієнтованих чисел, методи нечіткої логіки та теорія множин. При цьому розробка моделі ЕМС СТЕ повинна враховувати різні структури взаємодії чинників та будуватися не тільки на ієрархічному принципі, а й з урахуванням специфіки утворення ЕМЗ [10].

Насамкінець зазначимо, що після розробки методології оцінки електромагнітної обстановки та отримання її кількісних показників, необхідна розробка заходів із забезпечення необхідного рівня ЕМС [11].

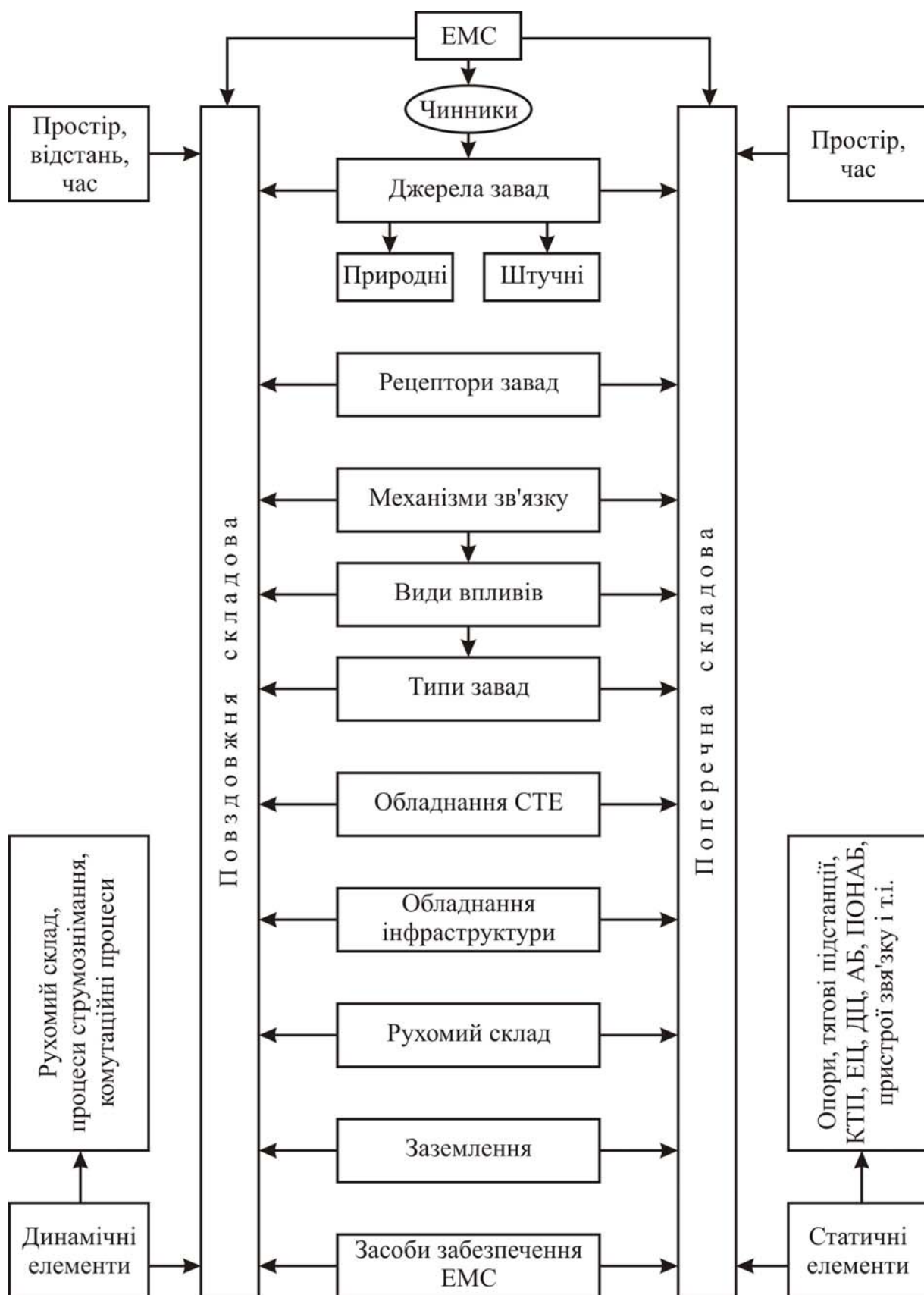


Рис. 2. Узальнена структура проблеми EMC у тяговому електропостачанні

Висновки

1. Проблема ЕМС СТЕ має складний, багаторівневий характер як в поперечному перерізі, так і в повздовжньому плані.

2. Аналіз ЕМС СТЕ необхідно здійснювати з урахуванням типових ЕМЗ для кожної з підсистем, застосовуючи до них різні методи розрахунку.

3. Необхідний рівень ЕМС СТЕ повинен забезпечуватись у кожній із підсистем різного енергетичного рівня.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Князев, А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. [Текст] / А. Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
2. Быков, Ю. М. Помехи в системах с вентиляционными преобразователями. [Текст] / Ю. М. Быков, В. С. Василенко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 132 с.
3. Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий. [Текст] / под ред. А. К. Шидловского. – К.: Наук. думка, 1992. – 236 с.
4. ДСТУ 2793-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до потужних електромагнітних завад. Загальні положення. [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 15 с.

5. Уильямс, Т. ЭМС для систем и установок. [Текст] / Т. Уильямс, К. Армстронг. – М.: Изд. дом «Технологии», 2004. – 508 с.
6. Кошевий, С. В. Электромагнитні завади в межах рейкової колії і їх вплив на роботу автоматичної локомотивної сигналізації [Текст] / С. В. Кошевий, М. С. Кошевий, М. М. Бабаєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4. – С. 13-18.
7. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
8. Косарев, А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока [Текст] / А. Б. Косарев. – М.: Интекст, 2004. – 272 с.
9. Чиженко, И. М. Основы преобразовательной техники [Текст] / И. М. Чиженко, В. С. Руденко, В. И. Сенько. – М.: Высш. шк., 1974. – 305 с.
10. Костроминов, А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех [Текст] / А. М. Костроминов. – М.: Транспорт, 1997. – 192 с.
11. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. [Текст] / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 134 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2009.

Прийнята до друку 14.01.2010.

Н. Н. БЕЛЯЕВ, А. В. РАДКЕВИЧ, В. М. ЛИСНЯК (ДИИТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА БАЗЕ ПОЛЕВОЙ МОДЕЛИ

На базі тривимірної чисельної моделі виконано розрахунок процесу поширення у атмосфері аміаку. Модель базується на чисельному інтегруванні 3D рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Наводяться результати обчислювального експерименту щодо прогнозу рівня забруднення атмосфери.

На основе трехмерной численной модели рассчитан процесс распространения в атмосфере аммиака. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Приводятся результаты вычислительного эксперимента по прогнозу уровня загрязнения атмосферы.

The 3D CFD model to simulate the pollutant transfer of toxic gas after accidents was used. The model is based on the transport gradient model. The results of numerical experiments on forecasting the level of air contamination are presented.

Введение

При разработке плана ликвидации аварийной ситуации (ПЛАС) в случае аварийных разливов, выбросах токсичных веществ ответственным этапом является прогноз возможных масштабов загрязнения [9]. На основе такого прогноза можно научно обоснованно определить параметры защитных установок, их размещение, режим работы для минимизации экологического ущерба. Для прогноза загрязнения атмосферы при авариях достаточно активно применяются аналитические модели [3, 6] и основанные на них коммерческие коды (программы) расчета рассеивания токсичных газов в атмосфере. Например, на практике широко используется модель Гаусса [4, 10, 11], как в коде «Аммиак» (Россия). Данный код создан на основе «Методики расчета концентрации в воздухе и распространения газового облака» (приложение 1 ПБ 09-597-03). Следует иметь в виду, что модель Гаусса (используется в США с 1929 г.) подвергалась серьезной критике сотрудниками Главной геофизической лаборатории им. А. И. Воейкова [5] и данная модель не учитывает изменение с высотой профиля скорости ветра, вертикального коэффициента диффузии, геометрическую форму облака и т.д. В данном коде для расчета коэффициентов дисперсии используются формулы Briggs'a (разработанные в 1973 г.), причем есть неточность – Briggs предложил различные формулы для определения вертикального и поперечного коэффициентов дисперсии [10], а в коде «Аммиак» для расчета продольного коэффициента дисперсии используется та же зависимость, что и для поперечного коэффициента дисперсии. Эм-

пирические зависимости, применяемые в данном коде, определялись для конкретной территории США и для конкретных метеоусловий на этой территории. Возникает закономерный вопрос, например такой: «Эквивалентны ли метеоусловия в г. Индианаполис, где проф. S. Hanna [11] проводил эксперименты по уточнению ряда коэффициентов для модели Гаусса, метеоусловиям для Тульской или, например, Кировоградской области?» К сожалению, не получилось найти научные публикации, где обсуждались бы результаты экспериментов по определению коэффициентов дисперсии на территории Украины (для обоснованного применения их в модели Гаусса при прогнозе миграции примеси в Украине) и давалось бы подтверждение правомерности использования эмпирических зависимостей для коэффициентов дисперсии, других параметров и полученных в США, например, для Днепропетровской области. В целом можно сказать, что аналитические модели не позволяют комплексно учесть те закономерности, которые оказывают существенное влияние на перенос примеси в атмосфере в силу тех допущений, которые приняты для получения аналитического решения [4, 10].

Универсальным методом решения задач данного класса является численное моделирование.

Целью данной работы явилось применение построенной трехмерной численной модели (полевой модели, CFD model) [2] для расчета пространственного процесса загрязнения атмосферы при аварийном разливе сжиженного аммиака. Построенная модель дает возможность выполнить прямое численное моделирование процессов рассеивания токсичного газа с уче-

том неравномерного профиля ветра, неравномерных значений коэффициентов диффузии, геометрической формы облака (т.е., в модели выполняется критерий геометрического подobia). Модель позволяет получить прогнозные результаты в течение нескольких секунд на ПК средней и малой мощности.

Математическая модель

Рассматривается процесс загрязнения атмосферы при поступлении в нее токсичного газа – аммиака. Моделируется ситуация, когда над местом аварийного разлива образовалось облако газа (первичное облако) сложной геометрической формы.

Для расчета процесса загрязнения атмосферы при распространении токсичного газа, попавшего в воздушную среду вследствие аварии, используем трехмерное уравнение переноса примеси (модель градиентного типа) [1, 8]:

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

где C – концентрация примеси; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_s – скорость оседания примеси (при решении данной задачи принята равной 0); $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициенты атмосферной диффузии; Q – интенсивность выброса примеси; $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i(t), y_i(t), z_i(t))$ – координаты источника эмиссии примеси.

В разработанной численной модели используется неравномерный профиль скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии [2, 3]:

$$\begin{aligned} u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n; \\ \mu_z = 0,11z, \end{aligned} \quad (2)$$

где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 ; $n = 0,15$. Коэффициент μ_y принимается равным $\mu_y = \mu_x$.

При построении математической модели процесса загрязнения атмосферы, при разливе

сжиженного аммиака, делается следующая схематизация рассматриваемого процесса:

– полагается, что после аварийного разлива на месте аварии сформировалось первичное облако с известной формой, размерами и концентрацией аммиака (размеры облака могут быть рассчитаны например, по зависимостям [1]);

– полагается, что одновременно происходит загрязнение атмосферы вследствие испарения аммиака от зоны разлива (форма, размеры зоны разлива известны, интенсивность испарения рассчитывается или задается [6]).

Постановка краевых условий для рассмотренного уравнения переноса примеси рассмотрена в работах [7, 8].

Метод решения

Численное интегрирование уравнения (1) проводится с использованием попеременно-треугольной неявной разностной схемы расщепления [7] на прямоугольной разностной сетке. Разработанный код реализован на алгоритмическом языке FORTRAN. Форма облака токсичного газа, зоны разлива формируется в численной модели с помощью маркеров [7].

Алгоритм решения задачи

Алгоритм решения задачи заключается в следующем.

1. Вводится информация о размерах первичного облака, его форме, концентрации в нем, задается скорость, направление ветра, коэффициенты турбулентной диффузии.

2. Осуществляется расчет процесса загрязнения атмосферы при миграции первичного облака и при испарении аммиака от места разлива (уравнение 1).

3. Осуществляется вывод на печать (дисплей) изолиний концентрации токсичного вещества, на основе которых строится прогноз о возможном поражении людей на местности, если концентрации превышает пороговое (смертельное) значение.

Практическая реализация

Рассматривается применение трехмерной численной модели для расчета загрязнения атмосферы при аварийном разливе аммиака. Вычислительный эксперимент проведен при следующих исходных данных: размеры расчетной области $400 \times 336 \times 84$ м; коэффициенты $\mu_x = \mu_y = 2,7 \text{ м}^2/\text{с}$. Скорость ветра и вертикальный

коэффициент диффузии рассчитывались по зависимости (2), $V_{10} = 6,7$ м/с. Высота «гриба» – 44 м; длина порядка – 80 м, ширина порядка 32 м. Шляпка гриба имеет наклон (рис. 1).

Зона разлива имеет размеры 16×16 м; интенсивность испарения от зоны разлива – $100 \text{ г/м}^2/\text{с}$. Масса токсичного газа в «грибе» составляет порядка 700 кг.

Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента. Как известно, при решении задач, связанных с авариями при перевозках, хранении, производстве опасных веществ, весьма важно получить данные о динамике загрязнения атмосферы (как изменяются форма, размеры, интенсивность зоны загрязнения со временем). На рис. 1 – 5 показана динамика развития зоны загрязнения атмосферы для рассматриваемого сценария, которая характеризуется размывом грибовидной формы облака, сносом облака в направлении ветра и «примыканием» к уходящему облаку шлейфа от зоны разлива.

Зона разлива четко выделяется на рисунках в виде области возле земли с высоким градиентом концентрации примеси. По высоте зона загрязнения атмосферы, вблизи области разлива, составляет около 20 м (для момента времени $t = 45$ с).

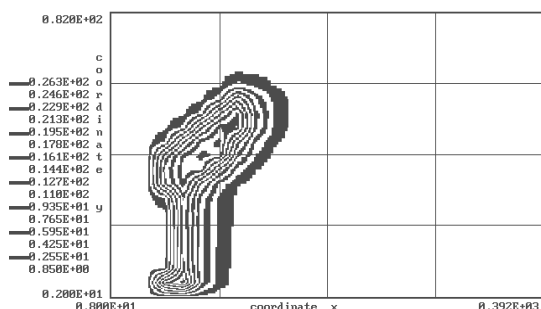


Рис. 1. Изолинии концентрации аммиака для момента времени $t = 1$ с (сечение $y = 184$ м)

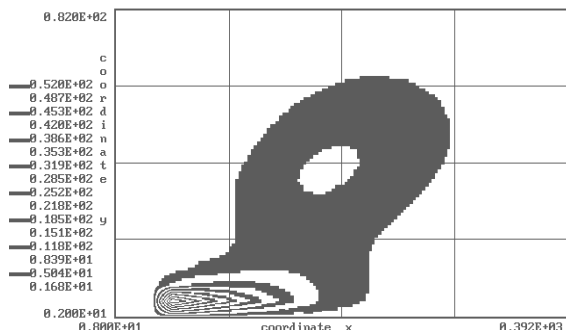


Рис. 2. Изолинии концентрации аммиака для момента времени $t = 15$ с (сечение $y = 184$ м)

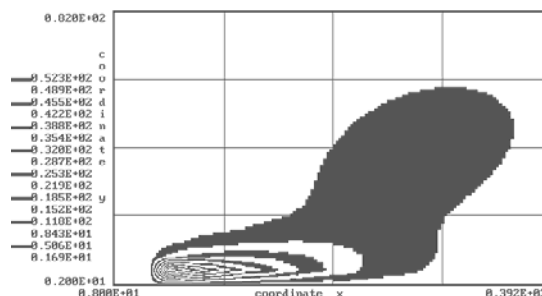


Рис. 3. Изолинии концентрации аммиака для момента времени $t = 25$ с (сечение $y = 184$ м)

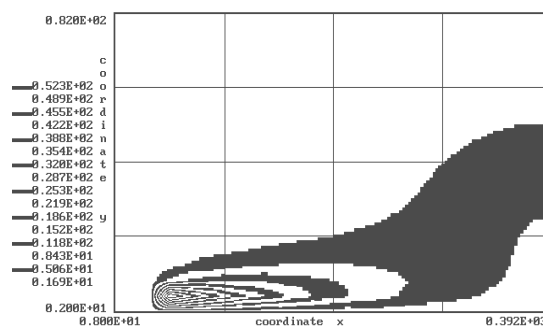


Рис. 4. Изолинии концентрации аммиака для момента времени $t = 35$ с (сечение $y = 184$ м)

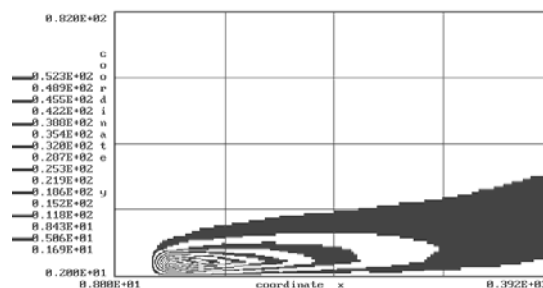


Рис. 5. Изолинии концентрации аммиака для момента времени $t = 45$ с (сечение $y = 184$ м)

Из рис. 5 хорошо видно, что шлейф от зоны разлива ветровым потоком как бы «прижимается» к поверхности земли.

При прогнозе химической обстановки в случае аварий возникает необходимость достаточно детальной оценки уровня загрязнения атмосферы в ряде конкретных мест (например, планируемые места размещения личного состава бригад, техники и т.д.). В табл. 1 представлены прогнозные данные о динамике изменения концентрации токсичного газа в точке, расположенной с координатами $x = 344$ м, $y = 184$ м, $z = 2$ м. Отчетливо видно, что на рассматриваемом временном интервале происходит интенсивный рост концентрации газа. Учитывая, что ПДК (в рабочей зоне) для аммиака составляет 20 мг/м^3 , то к моменту времени $t = 50$ с его концентрация будет превосходить ПДК почти в 140 раз.

Таблица 1

**Изменение концентрации токсичного газа
в расчетной точке с течением времени**

t, c	19	25	34	50
Концентрация токсичного газа, г/м ³	0,05	0,28	1,12	2,88

Степень токсичного поражения людей на местности может быть оценена не только по величине концентрации отравляющего вещества, но также на основании расчета токсодозы, например, по модели [1]:

$$TD = \int_0^t C dt, \quad (3.2)$$

где C – концентрация токсичного вещества в расчетной точке; t – время экспозиции.

В табл. 2 представлены прогнозные данные о динамике изменения токсодозы в точке с координатами $x = 264$ м, $y = 184$ м, $z = 2$ м.

Таблица 2

**Изменение токсодозы в расчетной точке
с течением времени**

t, c	28	31	36	39
Токсодоза мг/л·мин	0,08	0,12	0,23	0,30

Учитывая, что при значении токсодозы 0,25 мг/л·мин появятся симптомы отравления [1], то как видно из табл. 2, это значение токсодозы будет достигнуто примерно через 36 с в расчетной точке.

В заключение отметим, что решение задачи получено за 5 с. Таким образом, построенная численная модель позволяет оперативно выполнять прогнозные расчеты по анализу динамики формирования зоны загрязнения, ее интенсивности, прогнозу уровня загрязнения воздушной среды в интересующих точках, т.е. получить необходимую информации для научного обоснования тех или иных защитных мероприятий.

Выводы

В работе на основе трехмерной численной модели, выполнен расчет процесса рассеивания токсичного газа в атмосфере. Методом вычислительного эксперимента исследована динамика загрязнения атмосферы с учетом миграции первичного облака и шлейфа, формирующегося над зоной разлива. Благодаря быстрому счету

(3...5 с) модель может служить эффективным инструментом для оперативного прогноза обстановки при авариях, сопровождающихся выбросом, разливом химически опасных веществ. Дальнейшее развитие данной модели должно быть направлено на создание численной модели для расчета рассеивания тяжелых газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст] : учеб. пособ. в 6-ти кн. / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева). – М.: АСВ, 2001. – 200 с.
2. Беляев, Н. Н. Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсичных веществ [Текст] / Н. Н. Беляев, В. М. Лисняк. – Д.: Инновация, 2006. – 150 с.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
4. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов [Текст] / Е. В. Бруцкий. – К.: Изд-во ин-та гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
5. Генихович, Е. Л. К вопросу о применимости гауссовой модели для расчета загрязнения воздуха [Текст] / Е. Л. Генихович // Тр. ГГО. – 1982. – Вып. 450. – С. 35-40.
6. Заказнов, В. Ф. Распространение аммиака при разгерметизации аммиакопровода, емкостей [Текст] / В. Ф. Заказнов, Л. А. Куршева // Исследования и разработки по созданию магистральных аммиакопроводов и складов жидкого аммиака: Тр. ГИАП. – М., 1985. – С. 57.
7. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
8. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
9. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [Текст] : Наказ МНС України № 73/82/64/122. – К.: Вид-во Чорнобильінтерінформ, 2001. – 33 с.
10. Hanna, S. Air Quality Modelling over Short Distances [Text] / S. Hanna // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modelling: 16 May – 3 June 1994. – № SMR/760-2. – P. 712-743.
11. Hanna, S. Hybrid Plume Dispersion Model (HPDM) Improvements and Testing [Text] / S. Hanna, J. C. Chang // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modelling: 16 May – 3 June 1994. – № SMR/760-4. – P. 1491-1508.

Поступила в редколлегию 04.09.2009.
Принята к печати 22.09.2009.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

На підприємствах залізничі щорічно утворюється і накопичується велика кількість нафтовміщуючих відходів, метод утилізації яких залежить від їх конкретного виду, кількості і властивостей. У даній статті розглядаються основні методи їх раціональної утилізації, попередні заходи й основні методи регенерації нафтозабруднених ґрунтів і відпрацьованих олив з можливістю їх повернення в сировинну базу.

На предприятиях железной дороги ежегодно образуется и накапливается большое количество нефтесодержащих отходов, метод утилизации которых зависит от их конкретного вида, количества и свойств. В данной статье рассматриваются основные методы их рациональной утилизации, предварительные мероприятия и основные методы регенерации нефтезагрязненных грунтов и отработанных масел с возможностью их возврата в сырьевую базу.

At railway enterprises year the great amount of oil-containing wastes is derived and accumulated annually, and the method of utilizing them depends on their concrete kind, amount and properties. In the article the basic methods of their rational utilization, the preliminary measures and basic techniques of regeneration of oil-contaminated soils and exhausted oils with possibility of returning them into the raw material resources base are considered.

В связи с увеличением спроса на топливные ресурсы, фиксируемым с начала XXI века, поиск дополнительных и рациональное потребление существующих нефтяных ресурсов является важной стратегической задачей. К таким задачам относится как сокращение потерь нефти на всех стадиях ее производства, так и возвращение в оборот нефтепродуктов, утраченных во время аварий. Решение этой задачи одновременно обеспечит как экономический, так и экологический эффекты.

Выход нефти из оборота происходит в различных источниках от устья скважины до баков машин при добыче, сборе и хранении нефти, из резервуаров, при сливо-наливных операциях, отпуске нефтепродуктов потребителям, в результате утечек и аварий при транспорте по трубопроводам и т.д. Эта величина достигает больших значений и по различным источникам составляет от 5 до 17 % добываемой продукции [1].

Потери нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах в системах добычи, транспорта и хранения являются непредсказуемым (случайным) явлением, зависят от многих факторов и на сегодня не поддаются строгому количественному определению. Во многих случаях эти потери становятся невосполнимыми. Но при своевременной локализации разливов и быстром сборе нефтепродукты могут быть возвращены в оборот сырьевых запасов для нефтепереработки и нефтехимии. Сбор нефти и нефте-

продуктов, разлитых на поверхности почвы и особенно воды, является весьма сложной технической задачей. Тем не менее, на современном этапе задача сбора и удаления нефти и нефтепродуктов с поверхности воды решается довольно успешно с применением различных технологий и технических средств.

Рассмотрение технологий и технических средств для сбора нефтепродуктов с различных поверхностей и утилизация нефтесодержащих отходов с учетом их свойств, а также возвращение углеводородов в сырьевую базу являются своевременными и актуальными.

Современные требования, предъявляемые к рациональной системе транспортировки нефти, предполагают внедрение системы экологической безопасности, поскольку проблемы, связанные с поступлением нефти в окружающую среду, являются не только социально-экономическими, но и политическими. Огромный массив используемой при этом информации имеет пространственный аспект.

Понятие «экологической безопасности» в нефтегазовом комплексе, в том числе при транспортировке нефти и нефтепродуктов, имеет многогранную структуру, где одинаково важны как природоохранные, так и правовые, социальные и экономические аспекты. Вопросы обеспечения экологической безопасности тесно связаны со стратегией обеспечения устойчивого развития. Угроза загрязнения территорий и акваторий имеют пространственно-временной

аспект. Возникновение широкомасштабных транспортных эмиссий нефтепродуктов в зонах с близким расположением подземных и поверхностных водоисточников обуславливает возможность перехода угрозы из локальной в региональную. Одной из главных причин возникновения угрозы экологической безопасности является неравномерность экологической и антропогенной нагрузки и нарушение экологического равновесия.

Экологическая безопасность при организации перевозки нефти как железнодорожным транспортом, так и трубопроводным зависит от надежности инженерных решений, соблюдения установленных режимов эксплуатации, надежности функционирования технологических систем, организации и соблюдения установленной последовательности выполнения работ и операций. Учитывая выполнение всех работ при непосредственном участии специалистов разных уровней, безопасность принимаемых решений в большей степени зависит от квалификации и исполнительности персонала.

Заранее предугадать точное место, время и масштабы разливов нефтепродуктов невозможно. Однако, в целях обеспечения эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, защиты населения и окружающей природной среды от их вредного воздействия существует разработанный и утвержденный комплекс нормативных документов, регламентирующих деятельность предприятий, осуществляющих добычу, транспортировку, переработку и реализацию нефти и нефтепродуктов.

С целью минимизации экономических и экологических ущербов, которые возникают при транспортных инцидентах во время перевозки нефтепродуктов и других типов опасных грузов, особое внимание необходимо уделять превентивным мероприятиям, к которым относятся и моделирование систем по предупреждению аварийных ситуаций. Процесс моделирования системы предупреждения аварийных разливов и обеспечения экологической безопасности при транспортировке включает в себя этап построения модели местности, содержащей различные слои цифровой картографической информации, включая карты чувствительности, а также модель поведения нефти.

В структуре системы управления экологическим состоянием окружающей среды основной составляющей является база данных, обеспечивающая систему информацией и определяющая ее структуру, функции и способности решения управленческих задач, основанных на модели-

ровании ситуации. Значительное количество информации уже организовано в базы данных, особенно это касается информации, содержащей сведения о мониторинге окружающей среды.

Полноценное решение задач управления экологическим состоянием окружающей среды, в частности, в районах разработки и транспортировки нефти, зависит от систематического анализа большого количества разнородных данных, а также решения множества географических, технологических и производственных задач. Достоверность и своевременность получения необходимой информации часто играет решающую роль в вопросах оптимизации природопользования, что становится весьма важным в условиях интенсификации развития транспортного комплекса.

Развитие систем управления окружающей средой при организации природопользования на основе современных информационных технологий позволит не только сократить частоту возникновения ситуаций, связанных с загрязнением природных объектов, но и оптимизировать организацию природопользования, поскольку высокая концентрация ресурсов может привести к появлению в смежных районах взаимоисключающих видов антропогенной деятельности. В этом случае система управления экологическим состоянием окружающей среды призвана определить наилучшие варианты развития природопользования с учетом экологических и экономических факторов.

Нефть и продукты ее переработки являются одним из наиболее распространенных грузов, транспортируемых по железным дорогам. Украина – транзитная страна, и наряду с большим числом грузоотправителей растет число грузополучателей на этот вид продукции в странах Восточной Европы, однако количество аварий с этим типом продуктов имеет тенденцию к росту.

Сутью цикла предлагаемых технологий ликвидации экологических последствий транспортных аварий с нефтепродуктами является оптимальное сочетание применения естественных процессов самовосстановления почв в качестве доочистки загрязненного грунта и целевых технологических мероприятий по локализации, деконтаминации и возможной утилизации нефтепродуктов с целью возврата их в технологические циклы.

При выборе методик очистки грунта от нефтепродуктов необходимо четко дифференцировать качественные параметры исходных условий для проведения мероприятий (рис. 1).



Рис. 1. Основные критерии дифференциации для выбора метода очистки грунтов от нефтепродуктов

Нами предложена технология очистки грунтов от тяжелых фракций нефтепродуктов, которая проводится за пределами зоны аварии.

Схема I – загрязненный грунт срезается и вывозится на специально оборудованные площадки, где подвергается сначала отмывке раствором ПАВ, а затем обработке раствором субстрата аборигенной микрофлоры с питательной средой. При этом нефтесодержащий осадок подвергается специфической утилизации.

Схема II – загрязненный грунт срезается и очищается в специальных термокамерах, где под действием высоких температур осуществляются процессы извлечения нефтепродуктов из грунтовой массы.

Основным принципом III-й схемы ликвидации разливов тяжелых нефтепродуктов является общепризнанная схема, включающая следующие этапы: локализации места разлива; откачка жидкой фазы нефтепродукта; засыпка места аварии поглотителями; сбор отработанных поглотителей и срезка нефтезагрязненного грунта; отправка собранного поглотителя и срезанного грунта на утилизацию; обработка места аварии ферментами и биопрепаратами-нефтедеструкторами для глубокой доочистки грунта. При этом в качестве поглотительных материалов наиболее целесообразно использование сорбентов, изготовленных из отходов производств, подлежащих дальнейшему отжиму, что дает не только экономический эффект от использования дешевого сырья и регенерации нефтепродукта, но и экологический эффект путем решения проблем утилизации некоторых типов отходов производств.

Основной технологией ликвидации аварийных разливов легких нефтепродуктов «in-situ» является: отдувка легких фракций разогретым до оптимальных температур воздухом.

Для проведения выше описанных восстановительных работ была разработана схема размещения рабочего оборудования и специальное устройство для извлечения легких фракций нефтепродуктов из грунтовой массы путем термоконвекции. При этом основной концепцией предложенной технологии является возможность утилизации нефтепродукта путем пропускания его через рефрижераторную установку, где и происходит конденсация паров бензина. Степень извлечения легких фракций нефтепродуктов путем термоконвекции достигает 83 %, при этом анализ сконденсированной бензиновой фракции свидетельствует в пользу возможности его последующего вовлечения в технологический цикл.

Все предложенные технологии прошли апробацию в отраслевой экологической лаборатории на железнодорожном транспорте и на подразделениях Укрзализныци.

Утилизация с вовлечением в сырьевую базу нефтесодержащих отходов является сегодня одним из достаточно перспективных направлений рационального природопользования. Отходы нефтепродуктов необходимо утилизировать в зависимости от фракционного состава: тяжелые фракции сжигаются в теплогенераторах; легкие фракции утилизируются для получения бензина, керосина, солярки.

Отработанные масла, не подлежащие регенерации, используются для смазки стрелочных переводов и форм.

Утилизация отработанных масел является важной научно-технической проблемой, потому что они являются техногенными отходами, негативно влияющими на все объекты биосферы. Например, захоронение и уничтожение отработанных масел путем термоокисления порождают еще более существенное негативное

влияние на окружающую среду на фоне экономической нецелесообразности.

Экологически безопасная утилизация отработанных масел предполагает их использование для получения вторичных товарных продуктов различного назначения: пластичных масел, МОТЗ, консервационных топливно-смазочных материалов и т.д. Основное место в решении проблемы занимают отработанные нефтяные масла, ресурсы которых оценивают в 50 % от общего потребления свежих продуктов, при этом отработанные нефтяные масла составляют 30 % всех нефтяных отходов.[2] Одновременно с этим развиваются и технологии очистки и регенерации отработанных синтетических и минеральных масел. Процессы регенерации отработанных масел осложняются по причине целого ряда факторов и пока еще реализованы только на железнодорожном транспорте для натриевых и натриево-кальциевых масел [3].

Для получения позитивного результата от регенерации, т.е. получения высококачественного продукта, необходимо четко придерживаться требований к проведению предварительных мероприятий. К ним относят сбор отработанных масел различных марок и разной степени загрязнения в отдельных резервуарах с соответствующей маркировкой, хранение их с соблюдением необходимой температуры (с использованием теплоизоляции и средств подогревания), транспортировку к пунктам регенерации. При этом предприятия обязаны придерживаться технических условий на отработанные нефтепродукты, а также тщательным образом проверять исправность и особенно герметичность резервуаров и арматуры для предупреждения попадания влаги и посторонних предметов, периодически очищать емкости от осадка, который образуется в результате отстаивания масел. Места хранения отработанных масел должны быть обеспечены противопожарными средствами в соответствии с нормами и правилами, которые действуют на предприятии.

Использование масел всегда связано с теми или иными изменениями физико-химических свойств, которые лимитируют срок их полезной эксплуатации. Но опыты показали, что в основном групповой химический состав масел изменяется в незначительной мере. Продукты физико-химических превращений масел, а также вредные примеси, которые попадают извне и делают масла непригодными для последующей работы, составляют лишь незначительную часть общей их массы и с помощью некоторых методов обработки могут быть удалены. После

исключения загрязняющих веществ возобновляются первоначальные свойства масел, и их можно использовать повторно в смеси со свежими маслами [4].

Нами проводились исследования в области восстановления качества отработанных моторных масел локомотивных депо Приднепровской железной дороги, в частности масел М-14В₂ и М-14Г₂ЦС, которые допускаются к применению в двигателях тягового подвижного состава тепловозов и дизель-поездов. В частности, изучались адсорбционные свойства Сокирницких и Дашуковских цеолитов, оксида алюминия; возможность применения в схемах регенерации каустической и кальцинированной соды, а также АБСК, некоторые ПАВы и вспененные металлы в качестве фильтров доочистки. Проводился подбор основных параметров очистки (температуры, времени контакта, необходимости и интенсивности перемешивания с тем или иным реагентом).

Кроме того, изучалась основная проблема для используемых в настоящее время схем регенерации отработанных масел – различные присадки, состав которых чаще всего не указывается. Присадки существенно влияют на свойства отработанных и эксплуатационных масел, поэтому в некоторых случаях более экономически эффективным является возобновление не отработанных, а эксплуатационных масел, что предоставляет преимущество не только в качестве полученного продукта, но и снижает его себестоимость, срок и сложность регенерационных процессов. Но это является целесообразным лишь для предприятий, которые имеют регенерационный блок для восстановления первоначальных свойств масел (для уменьшения расходов на хранение и транспортировку).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы и технические средства очистки нефте-содержащих сточных вод [Текст] / Е. В. Кузнецова и др. – СПб.: Недра, 2006. – 192 с.
2. Бойченко, С. В. Моторные топлива и масла для современной техники [Текст] : монография / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В. Г. Бурлака. – К.: НАУ, 2005. – 216 с.
3. Никулин, Ф. Е. Утилизация и очистка промышленных отходов [Текст] / Ф. Е. Никулин. – Л.: Судостроение, 1980. – 232 с.
4. Цеолиты – минерал XXI века [Текст]. Компания «Сибирь-Цео» // С.О.К. – 2004. – № 4.

Поступила в редколлегию 14.01.2010.

Принята к печати 20.01.2010.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

На базі тривимірної чисельної моделі виконано розрахунок процесу поширення токсичної речовини в атмосфері з урахуванням рельєфу. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та моделі потенційного руху. Наводяться результати обчислювального експерименту.

На базе трехмерной численной модели выполнен расчет распространения токсичного газа в атмосфере с учетом рельефа. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси и модели потенциального течения. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

The 3D numerical model was used to simulate the toxic gas dispersion over complex terrain. The model is based on the K -gradient transport model and the model of potential flow. The results of numerical experiment are presented.

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос разработки эффективных методов прогноза уровня загрязнения атмосферы при авариях, связанных с эмиссией токсичных веществ [1]. Нормативная методика, используемая для прогноза последствий при авариях с опасными веществами, дает возможность только оценить размеры (площадь) зоны загрязнения и не позволяет рассчитать концентрацию токсичного газа на различном расстоянии от места аварии [5]. Повышение требований к качеству прогнозной информации, с целью получения научно-обоснованных расчетных данных, ставит задачу создания моделей, учитывающих такой важный фактор как рельеф местности, поскольку он оказывает самое существенное влияние на процесс рассеивания токсичных веществ в атмосфере. В этом случае рассматриваемые задачи переноса примеси в атмосфере характеризуются такими особенностями:

- сложность реализации в модели граничных условий на поверхности рельефа;
- необходимость учета деформации поля скорости при обтекании рельефа;
- изменение с высотой скорости ветра, величины коэффициента турбулентной диффузии;
- необходимость быстрой перенастройки модели на решение другой задачи (иная конфигурация рельефа местности, формы облака и т.д.).

Именно поэтому применение аналитических моделей для решения задач переноса токсич-

ных газов в атмосфере с учетом рельефа исключено. Расчет рассеивания загрязнителя в атмосфере с учетом реального рельефа местности (немодельные задачи) может быть выполнен только с помощью численных моделей (CFD модели) [8 – 11]. При этом для задач рассматриваемого класса немаловажным является вопрос получения прогнозной информации за минимальное расчетное время (порядка нескольких минут). **Целью настоящей работы** является применение разработанной автором численной модели и созданного на её основе кода для решения задачи прогноза загрязнения атмосферы при миграции облака токсичного газа над поверхностью со сложным рельефом. Модель позволяет рассчитать процесс переноса загрязнителя в течение нескольких секунд на компьютерах средней мощности.

Математическая модель

Для моделирования процесса переноса токсичного газа в атмосфере будем использовать трехмерное уравнение переноса примеси [2, 3]

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

где C – концентрация примеси, попадающего в атмосферу при аварии; u , v , w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_s – скорость оседания примеси (в данной работе при-

нята равной нулю); $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициент турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса токсичного вещества; $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса.

Если рассматривается задача о миграции облака, то в модели задается форма облака и концентрация загрязнителя в нем.

В разработанной математической модели используется неравномерный профиль скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n; \quad \mu_z = 0,11z,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте $z_1 = 10$ м; $n = 0,15$.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [4, 2].

Метод решения

Выполним следующую аппроксимацию производных. Заменим производную по времени разделённой разностью «назад»:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t}.$$

Конвективные производные представим в виде:

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x};$$

$$\frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y};$$

$$\frac{\partial w C}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z},$$

$$\text{где } u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2}; \quad v^+ = \frac{v + |v|}{2}; \\ v^- = \frac{v - |v|}{2}; \quad w^+ = \frac{w + |w|}{2}; \quad w^- = \frac{w - |w|}{2}.$$

Для аппроксимации конвективных производных используем выражения:

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{ijk}^{n+1} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1}^{n+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}.$$

Компоненты вектора скорости будут рассчитываться, при решении гидродинамической задачи, на гранях разностной ячейки (контрольного объема). Вторые производные аппроксимируем следующими выражениями:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x^2} - \\ - \tilde{\mu}_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta y^2} - \\ - \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \tilde{\mu}_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta z^2} - \\ - \tilde{\mu}_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}.$$

В данных выражениях $L_x^+, L_x^-, L_y^+, L_y^-, L_z^+, L_z^-$, M_{xx}^+, M_{xx}^- и т.д. – обозначения разностных операторов. С учетом этих обозначений разностный аналог трехмерного уравнения переноса примеси будет иметь вид:

$$\frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + \\ + L_y^- C^{n+1} + L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \sigma C_{ijk}^{n+1} = \\ = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + \\ + M_{yy}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1}).$$

Расщепим решение данного разностного уравнения при интегрировании на временном интервале dt так:

- на первом шаге $k = \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \\ + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + \\ + M_{yy}^- C^n + M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^n); \end{aligned} \quad (3)$$

- на втором шаге $k = n + \frac{1}{2}$; $c = n + \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + \\ + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c); \end{aligned} \quad (4)$$

- на третьем шаге $k = n + \frac{3}{4}$; $c = n + \frac{1}{2}$ используется формула (4);

- на четвертом шаге $k = n + 1$; $c = n + \frac{3}{4}$ используется формула (3).

На пятом шаге расщепления учитывается влияние источников на изменение концентрации примеси, и расчетная зависимость на этом шаге имеет вид:

$$\frac{C_{i,j,k}^{5n+1} - C_{i,j,k}^{5n}}{\Delta t} = \sum_{l=1}^N \frac{q_l(t^{n+1/2})}{\Delta x \Delta y \Delta z} \delta_l.$$

В дискретном виде дельта-функция Дирака «размазывается» по объему разностной ячейки с учётом сбережения суммарного количества выбрасываемого загрязнения. Функции δ_l тождественно равняются нулю, кроме ячеек, где расположен l -й источник загрязнения. На каждом шаге расщепления расчет неизвестной концентрации осуществляется по явной формуле бегущего счета.

Для расчета поля скорости воздушного потока при обтекании сложного рельефа используется модель потенциального течения. Применение данной модели позволяет, в отличие от гидродинамических моделей, учитывающих вязкость, рассчитать поле скорости воздушной среды в течение нескольких секунд. Уравнение для определения потенциала скорости имеет вид [3]:

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

Компоненты вектора скорости рассчитываются по зависимостям

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial P}{\partial y} \text{ и т.д.}$$

Постановка граничных условий для данного уравнения рассмотрена в работе [3]. Для численного интегрирования этого уравнения используется идея установления решения по времени. Численное интегрирование проводится с помощью неявной схемы условной аппроксимации [7].

В построенной численной модели используется метод маркирования, позволяющий выделить разностные ячейки, которые относятся к области течения и к твердым границам (рельеф). Данный метод называют за рубежом «porosity technique» [8]. Применение этого метода дает возможность построить эффективный алгоритм расчета, при котором можно задавать любую форму рельефа местности.

Тестовые расчеты

Для тестирования блока модели, осуществляющего расчет поля потенциала скорости, было найдено численное решение уравнения теплопроводности вида:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

которое в области $0 \leq x < \infty$, $0 \leq y < \infty$, $0 \leq z < \infty$ при граничных условиях $T = 0$ на границах $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$ и начальном условии $T = T_0$ имеет аналитическое решение вида [6]:

$$T = T_0 \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{y}{2\sqrt{at}} \right) \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right).$$

Для численного решения задачи необходимо ограничить область расчета, поэтому при численном интегрировании этого уравнения с помощью неявной схемы условной аппроксимации использовались такие данные: длина области в направлении оси x – 9,6 м; в направлении оси y – 8 м; в направлении оси z – 8 м; $a = 1$, координаты расчетной точки: $x = 1$ м; $y = 1$ м; $z = 1$ м. $T_0 = 100$ °С – начальная температура.

Результаты расчета температуры в заданной точке и полученные на основе численного мо-

делирования и с помощью аналитической модели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика изменения температуры

t, c	Аналитическое решение	Численное решение, сетка $24 \times 21 \times 21$ узел	Численное решение, сетка $48 \times 42 \times 42$ узла
9,76	0,573	0,593	0,587
12,76	0,386	0,405	0,398
17,30	0,240	0,254	0,248

В данной таблице представлены результаты, полученные на двух сетках: $24 \times 21 \times 21$ узел и $48 \times 42 \times 42$ узла. Представленные данные позволяют отметить, что разработанная численная модель дает удовлетворительное согласование данных моделирования с данными, полученными аналитически.

Практическая реализация модели

Рассматривается сценарий аварии возле вокзала **ст. Днепропетровск-Южный** (рис. 1), в результате которой в атмосферу произошел выброс токсичного газа – аммиака. Место аварии показано на рис. 1 «кружком». Вокзал расположен на склоне, внизу склона – жилая зона. Считаем, что на месте аварии образовалось облако сложной формы (рис. 2), которое начинает двигаться, под действием ветра, вниз по склону, в направлении жилмассива **Победа-1**. Средняя высота склона составляет порядка 10 м. Скорость ветра составляет 5,3 м/с (на высоте 10 м).

Численное моделирование выполнено при следующих параметрах: размеры расчетной области $420 \times 320 \times 40$ м, коэффициент диффузии в направлении осей $x, y - 0,5 \text{ м}^2/\text{с}$. В облаке находится около 2 т токсичного вещества.

На рис. 2 – 4 показана зона загрязнения атмосферы для различных моментов времени. Как видно из данных рисунков, облако, образовавшееся на месте аварии, быстро размывается, теряя первоначальную форму, и вытягивается вдоль склона.

Для практики, с целью прогноза масштаба опасности аварии, представляет интерес оценка концентрации токсичного газа возле селитебной зоны.

В табл. 2 представлены прогнозные значения концентрации токсичного газа внизу склона, перед застройкой, на уровне дыхательной

зоны: $z = 1.6$ м (точка $x = 297$ м, $y = 146$ м). Принимая во внимание, что для данного токсичного вещества ПДК составляет $20 \text{ мг}/\text{м}^3$, то очевидно, что в случае аварии, для рассматриваемого сценария, последствия будут крайне тяжелыми, со смертельным исходом. Максимальная концентрация токсичного газа будет значительно превосходить ПДК. Наиболее интенсивное загрязнение селитебной зоны будет примерно через 50...60 с после выброса. Совершенно очевидно, за это время люди не успеют уйти из зоны поражения.



Рис. 1. Место аварии на ст. Днепропетровск-Южный

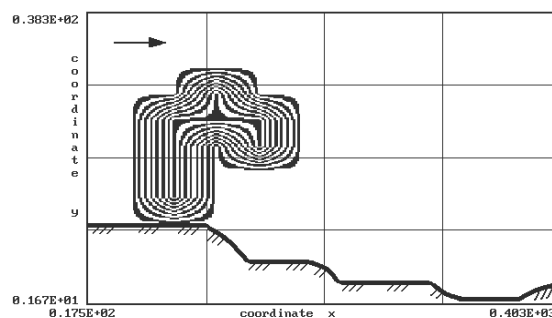


Рис. 2. Форма зоны загрязнения атмосферы, $t = 0,0001$ с (сечение $y = 146$ м)

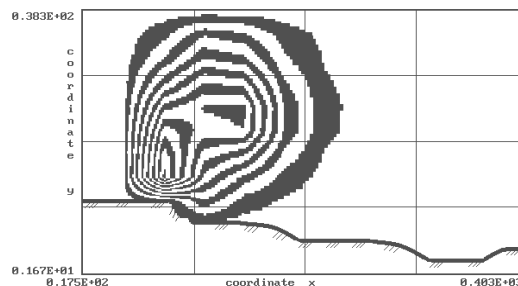


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы $t = 3$ с (сечение $y = 146$ м)

В табл. 3 представлены данные о динамике изменения концентрации загрязнителя в расчетной точке для варианта, когда масса токсичного газа в облаке составляла порядка 670 кг. Учитывая большие объемы перевозок опасных

грузов железной дорогой, можно считать такой выброс «малым».

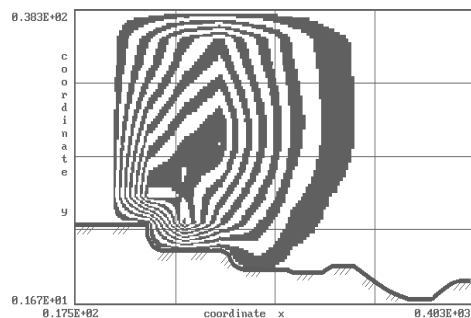


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы $t=7$ с (сечение $y=146$ м)

Таблица 2

Динамика изменения концентрации токсичного газа вблизи селитебной зоны (мощность выброса 2 т)

$t, \text{с}$	24	50	60
$C, \text{г/м}^3$	4,32	13,41	11,82

Таблица 3

Динамика изменения концентрации токсичного газа вблизи селитебной зоны (мощность выброса 670 кг)

$t, \text{с}$	24	50	60
$C, \text{г/м}^3$	1,38	4,30	3,80

Как видно из табл. 3, даже при такой мощности эмиссии концентрация токсичного газа в селитебной зоне будет превышать величину ПДК. Следовательно, жилая застройка у склона, прилегающего к железной дороге, находится в опасной зоне.

Отметим, что для решения данной задачи потребовалось 10 с.

Выводы

В работе на основе разработанной численной модели и созданного на ее основе кода выполнен прогноз уровня загрязнения атмосферы при аварии на железнодорожной станции. Расчеты показали, что в случае аварийной ситуации произойдет крайне опасное загрязнение воздушной среды в жилой зоне, прилегающей к месту аварии. Дальнейшее совершенствование рассмотренной в работе модели необходимо

проводить в направлении ее адаптации к моделированию процесса нейтрализации токсичного газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст] : учеб. пособие в 5-ти кн. / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаяева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 200 с.
2. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 735 с.
4. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [Текст]. – К., 2001. – 33 с.
6. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса [Текст] / А. Д. Полянин и др. – М.: Факториал, 1998. – 368 с.
7. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
8. Castino, F. Parameterization of Convective and Stable Interval Boundary Layers into Mass Consistent Models [Text] / F. Castino, M. Tombrou // 2 EACWE (Genova, Italy, 1997). – P. 309-314.
9. Computation of Wind Flow and Air Pollution for Regions Having a Complex Topography [Text] / Mahfound Kadja, Anagnostopoulos *et al.* // Proc. of 3rd European & African Conf. on Wind Engineering (Eindhoven Univ. of Technology, Netherlands, July 2-6, 2001). – P. 355-358.
10. Maurizi, A. Numerical Simulation of the Atmospheric Flow in a Mountainous Region of North Portugal [Text] / A. Maurizi, J. M. L. M. Palma, F. A. Castro // Proc. of 2nd EACWE (Genova, Italy, 1997). – Vol. 1. – P. 293-300.
11. Montavon, C. Validation of Non-hydrostatic Numerical Model to Simulate Stratified Wind Fields over Complex Topography [Text] / C. Montavon // 2 EACWE (Genova, Italy, 1997). – P. 357-362.

Поступила в редколлегию 14.01.2010.

Принята к печати 20.01.2010.

РАСЧЕТ ЗОНЫ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ

На базі моделі потенціальної течії та моделі переносу домішки виконано прогноз забруднення річки у випадку аварійного скиду забруднення в акваторію. Наведено результати обчислювального моделювання.

На базе модели потенциального течения и модели переноса примеси выполнен прогноз загрязнения реки в случае аварийного сброса загрязнителя в акваторию. Представлены результаты численного моделирования.

The 2D numerical model was used to simulate the pollutant dispersion in river after an accident. The model is based on the equation of potential flow and the transport model. The numerical modeling results are presented.

Введение

Интенсивное загрязнение рек может быть вызвано сбросом различных загрязняющих веществ при чрезвычайных ситуациях (прорыв канализационных сетей, разрушение ГТС и т.д.). Такие ситуации создают угрозу масштабного загрязнения акватории рек и водозаборов. Специфической особенностью ряда участков реки Днепр является расположение вблизи нее отстойников с промышленными отходами, в том числе радиоактивными. Чрезвычайные ситуации на этих объектах могут привести к такому загрязнению акватории Днепра, что будет эквивалентно катастрофе. В этой связи возникает актуальная задача прогноза загрязнения акватории рек в случае чрезвычайных ситуаций на объектах подобного типа. Применение физического эксперимента (моделирование в гидравлических лотках и т.п.) требует много времени на изготовление модели, постановку и проведение эксперимента, а также на обработку экспериментальных данных. Кроме этого, проведение физического эксперимента требует использования дорогостоящего оборудования, которое может позволить себе не каждая лаборатория. Поэтому физический эксперимент не может служить каждодневным инструментом решения прогнозных задач рассматриваемого класса. Использование аналитических моделей для прогноза загрязнения акватории рек ограничено тем, что данные модели не позволяют учесть, в первую очередь, особенности русла: геометрическую форму берегов, наличия островов, заливов и т.д. В этой связи, актуальной задачей является разработка эффективных численных моделей прогноза загрязнения водотока при чрезвычайных ситуациях.

Целью данной работы явилась разработка численной модели загрязнения акватории реки Днепр (участок водотока *Днепродзержинск–Днепропетровск*), где на острове имеется от-

стойник с промышленными отходами. Ставится задача прогноза динамики развития зоны загрязнения акватории в случае чрезвычайной ситуации на отстойнике, в результате которой загрязненные стоки начнут поступать в акваторию реки Днепр.

Математическая модель

При расчете процесса загрязнения акватории реки необходимо первоначально рассчитать поле скорости водного потока, а на втором этапе – решить задачу о транспорте загрязнителя по руслу.

На первом этапе для расчета поля скорости потока используется уравнение для потенциала скорости [2]

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) проводится при таких граничных условиях [2]:

- на твердых стенках $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$, где n – единичный вектор внешней нормали;
- на входной границе (границы втекания потока) $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$, где V_n – известное значение скорости втекания;
- на выходной границе $P = P^*(x = \text{const}, y) + \text{const}$ (условие Дирихле).

В рамках модели потенциального течения компоненты вектора скорости потока связаны с величиной потенциала скорости зависимостями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}.$$

Определив компоненты вектора скорости водного потока на первом этапе вычислительного эксперимента, можно перейти к решению

транспортной задачи. На этом этапе для расчета рассеивания загрязнителя в русле реки применяется уравнение переноса примеси, осредненное по глубине реки [1, 2, 4]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{ grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i),$$

где C – концентрация загрязнителя (в случае радиоактивного загрязнения – объемная активность) в русле реки; u, v – компоненты вектора скорости течения в русле; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса загрязнителя из отстойника в акваторию реки; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i – координаты источника выброса; σ – коэффициент, учитывающий распад загрязнителя, оседание его на дно, взаимодействие с донными отложениями; t – время.

Таким образом, поступление стоков в акваторию реки моделируется точечным источником известной интенсивности.

В работах [2 – 4] рассмотрена постановка краевых условий для уравнения переноса.

В данной работе для решения задачи используются конечно-разностные методы в сочетании с методом маркирования расчетной области [2]. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке, а положение твердых границ (острова и т.д.) задается с помощью маркеров. С помощью такого подхода можно быстро изменять форму расчетной области, что дает возможность применять разработанный код для моделирования гидродинамического процесса переноса примеси для различных участков водотока, не внося изменений в код, а изменяя только файл исходных данных. Применение метода маркирования дает возможность формировать в дискретной модели любую форму русла водоема.

Метод решения

Для численного интегрирования уравнения для потенциала скорости используется метод установления решения по времени. В этой связи интегрирование проводится для уравнения вида

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}, \quad (2)$$

где t – фиктивное время.

При $t \rightarrow \infty$ решение уравнения (2) будет стремиться к «установлению», т.е. к решению уравнения (1).

Для численного интегрирования уравнения (2) используется неявная схема условной аппроксимации [6]. В этом случае разностные уравнения на каждом дробном шаге имеют вид:

$$\frac{P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - P_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right],$$

$$\frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[\frac{P_{i+1,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{P_{i,j+1}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} \right].$$

Отметим, что схема является неявной, но расчет значения потенциала скорости $P_{i,j}$ в каждой разностной ячейке на каждом шаге расщепления осуществляется по явной формуле – методу бегущего счета [3]. Это позволяет создать эффективный алгоритм расчета в многосвязных областях и областях сложной геометрической формы, каковыми являются русла рек.

После расчета величины потенциала скорости компоненты вектора скорости рассчитываются по соотношениям:

$$u_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x};$$

$$v_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y}.$$

Для численного интегрирования уравнения переноса примеси используется попеременно-треугольная разностная схема [3]. При применении этой разностной схемы процесс решения уравнения переноса расщепляется на четыре шага. Разностные уравнения в операторном виде записываются так [3]:

- на первом шаге расщепления $k = n + \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^k + M_{yy}^+ C^n + M_{yy}^- C^n) +$$

$$+ \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l;$$

- на втором шаге расщепления $k = n + \frac{1}{2}$;

$c = n + \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l;$$

- на третьем шаге расщепления $k = n + \frac{3}{4}$;

$$c = n + \frac{1}{2};$$

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l;$$

- на четвертом шаге расщепления $k = n + 1$;

$$c = n + \frac{3}{4};$$

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l.$$

Пояснение к данным разностным операторам приведено в работе [2]. Из данных выражений можно получить явные формулы для определения неизвестного значения концентрации загрязнителя на каждом шаге расщепления.

Практическая реализация модели

На основе построенной численной модели разработан код «RIVER_2» на алгоритмическом языке FORTRAN. Разработанный код был применен для решения следующей задачи. Рассматривается участок в акватории реки Днепр, где расположен остров, а на острове находится отстойник с промышленными стоками (рис. 1). Предполагается, что в случае чрезвычайной ситуации в акваторию реки начинают поступать жидкие отходы. На рис. 1 место аварийного сброса отходов показано кружком. Направление течения показано стрелками. Ставится задача прогноза динамики развития зоны загрязнения реки. Известно, что на реке Днепр расположен каскад плотин, а значит, регулируя сброс на плотинах, можно уменьшить скорость течения на том или ином участке водотока в случае аварии. Поэтому расчет был выполнен при малой скорости течения, что моделировало ситуацию, когда сброс воды на плотинах был уменьшен. Расчет выполнен при следующих исходных данных: размеры расчетной области: длина – 5400 м, ширина – 4380 м, средняя скорость потока на входе в расчетную область –

0,01 м/с. Коэффициент диффузии по обоим координатным направлениям равен 0,7 м²/сек. Коэффициент σ равен нулю, т.к. рассматривается процесс загрязнения акватории реки за короткий промежуток времени после возникновения аварийной ситуации. Полагаем, что загрязненные сточные воды поступают с острова в реку с интенсивностью 100 ед/с (в безразмерном виде), аварийный сброс происходит в течении 5,5 часов, средняя глубина потока на рассматриваемом участке русла порядка 5...6 м.

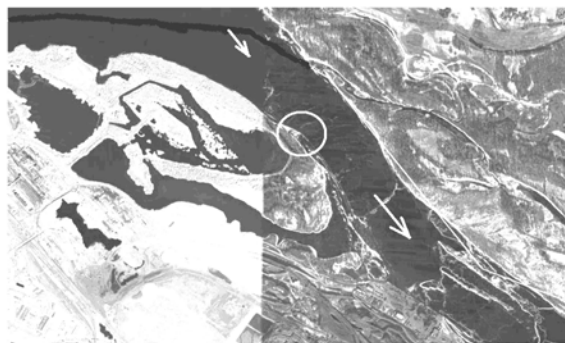


Рис. 1. Форма расчетной области

На рис. 2 – 4 показана динамика загрязнения акватории реки для различных моментов времени. Как видно из данных рисунков, зона загрязнения разбивается на две части. Одна часть движется вдоль русла, а другая часть огибает остров и проникает в затоку между островом и правым берегом реки Днепр. Отчетливо видно, что с течением времени эта затока полностью подвергается загрязнению. С экологической точки зрения можно считать, что данная затока «выполнит» защитную функцию, поскольку та часть загрязнителя, которая в нее попадет, не будет участвовать в возможном загрязнении водозаборов, расположенных вниз по реке.

Был проведен вычислительный эксперимент по оценке влияния еще меньшей скорости течения на динамику развития зоны загрязнения. Полагалось, что через промежуток времени 3,6 часа изменилась скорость течения на рассматриваемом участке водотока (за счет регулирования сброса на плотинах), и средняя скорость течения составила 0,003 м/с. Результаты данного вычислительного эксперимента показаны на рис. 5, 6. Эти рисунки необходимо сравнить с рис. 2 и рис. 3. Видно, что уменьшение скорости течения в русле привело к снижению темпа развития зоны загрязнения, и в частности, уменьшилась длина зоны загрязнения вдоль русла.

В заключение отметим, что для расчета задачи потребовалось около 30 с компьютерного времени.



Рис. 2. Изолинии концентрации загрязнителя через 13,3 ч после возникновения чрезвычайной ситуации

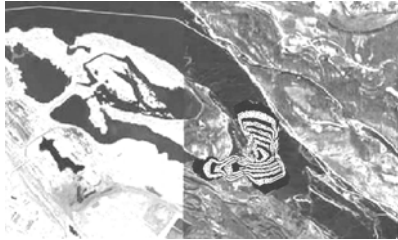


Рис. 3. Изолинии концентрации загрязнителя через 26,6 ч после возникновения чрезвычайной ситуации



Рис. 4. Изолинии концентрации загрязнителя через 56,6 ч после возникновения чрезвычайной ситуации

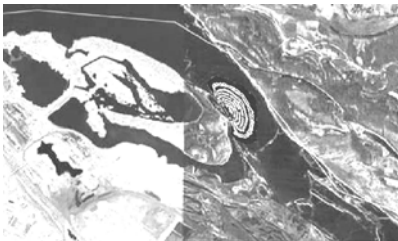


Рис. 5. Изолинии концентрации загрязнителя через 13,3 ч после возникновения чрезвычайной ситуации (уменьшилась скорость течения в русле)

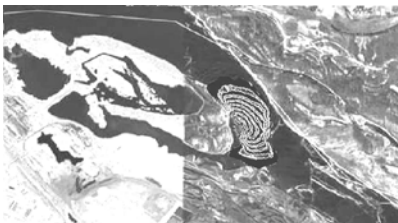


Рис. 6. Изолинии концентрации загрязнителя через 26,6 ч после возникновения чрезвычайной ситуации (уменьшилась скорость течения в русле)

Выводы

В работе рассмотрено применение разработанной численной модели для расчета процесса загрязнения водотока р. Днепр при поступлении загрязнителя из хранилища, расположенного на острове. Выявлена динамика загрязнения акватории реки. Вычислительный эксперимент показал, что значительному загрязнению подвергнется затока возле острова. Для уменьшения скорости распространения зоны загрязнения в акватории реки после аварии следует уменьшить скорость течения в русле реки путем уменьшения сброса воды на плотинах, расположенных по руслу. Дальнейшее совершенствование созданной модели следует проводить в направлении ее разработки для расчета рассеивания загрязнителя в трехмерной постановке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Численное моделирование процессов загрязнения поверхностных и подземных вод [Текст] / Л. И. Антошкина и др. – Д.: Изд-во ЧП Свидлера А. Л., 2004. – 168 с.
2. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
3. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
4. Основа прогнозирования качества поверхностных вод [Текст]. – М.: Наука, 1982. – 181 с.
5. Савенко, В. Я. Математическая модель механизма поперечной циркуляции в открытых потоках при неізотропних коефіцієнтах турбулентної в'язкості [Текст] / В. Я. Савенко, Е. С. Славинська // Вестник ХГАДТУ. – Вып. 7. – Х., 1998. – С. 50-53.
6. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
7. Шеренков, И. А. Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков [Текст] / И. А. Шеренков. – М.: Энергия, 1978. – 240 с.
8. Мокін, Б. Б. Математичні моделі для контролю та управління якістю річкових вод / Б. Б. Мокін. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 172 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2010.
Принята к печати 20.01.2010.

А. М. ОРЛОВСЬКИЙ, В. П. ГНАТЕНКО, К. В. МОЙСЕЄНКО (ДІПТ)

РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНОГО ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ТИПУ Р65 МАРКИ 1/9 ПРОЕКТУ 65109Ж-01

Наведено результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01.

Изложены результаты натурного испытания на прочность стрелочного перевода типа Р65 марки 1/9 проекта 65109Ж-01.

The results of full-scale test of the strength of the switch type R65, mark 1/9 of the design 65109Zh-01 are presented.

Стрілочний перевід типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01 – це один із перших сучасних переводів, запроєктованих та виготовлених в Україні.

Геометричні параметри переводу та основні вимоги до його конструкції розроблені кафедрою «Колія та колійне господарство» ДІПТу, а конструкторська документація на металеві частини та залізобетонні бруси – Науково-конструкторським технологічним бюро колійного господарства Укрзалізниці. Дослідний перевід виготовлено ВАТ «Дніпропетровський стрілочний завод», залізобетонні бруси – ВАТ «Коростенський завод залізобетонних шпал», пружні клеми типів КП-2 і КП-3 – ВАТ «Механіка».

У порівнянні з аналогом – стрілочним переводом проекту 2215, що масово використовується на мережі залізниць, – перевід проекту 65109Ж-01 відрізняється такими особливостями:

- збільшена відстань між брусами (табл. 1);

Таблиця 1

Максимальні та мінімальні відстані між брусами в різних частинах переводу, мм

Частина переводу	Стрілочний перевід проекту			
	65109Ж-01		2215	
	max	min	max	min
Стрілка (без флюгерного прогону)	594	555	560	520
З'єднувальна частина	576		520	497
Хрестовина	560		555	503

- гостряк гнучкого типу;
- збільшений радіус перевідної кривої до 204 075 мм (у проекті 2215 – 200 060 мм);
- суцільнолита хрестовина;
- пружне проміжне кріплення;

- контррейковий вузол з незалежним кріпленням контррейки;

- підкладки з виштампуваними ребордами;

- збільшена ширина колії в межах стрілки та перевідної кривої по боковому напрямку до 1 530 мм (у проекті 2215 – 1 524 мм).

Ці відмінності й викликали потребу в проведенні випробування нового стрілочного переводу на міцність.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

Стрілочний перевід, що випробовувався, був укладений на головній колії однієї зі станцій Придніпровської залізниці. На початок випробування по ньому було пропущено близько 500 тис. т вантажу брутто. Стан переводу на початку та протягом випробування відповідав вимогам чинної на той час «Інструкції по устрою та утриманню колії залізниць України» (ЦП/050) [1]. Знос металевих частин був відсутній.

Показники напружено-деформованого стану переводу визначалися під дією спеціального дослідного поїзда. Для реалізації швидкостей до 80 км/год він був сформований з двох електровозів серії ВЛ8, двох порожніх та двох завантажених щебенем піввагонів на візках моделі 18-100 (навантаження на вісь порожнього піввагона – 5,5 т, першого завантаженого – 17,9 т, другого – 24,0 т). Для швидкостей більше 80 км/год як дослідний поїзд використовувався один локомотив серії ЧС2.

Поїздки виконувалися човником (туди і назад) зі швидкостями 5, 20, 40, 60, 80, 100, 120 км/год по прямому напрямку та 5, 15, 25, 40, 50 – по боковому. З кожною швидкістю було зроблено від 8 до 20 заїздів (половина заїздів

дів у протишерстному напрямку (ПРШ), половина – у пошерстному (ПШ)).

Відповідно до рекомендацій, розроблених експертами V комісії Організації співробітництва залізниць, під час випробування визначалися такі характеристики взаємодії рухомого складу та елементів дослідного стрілочного перевалу:

- напруження (рамні рейки, гостряки, рейки з'єднувальної частини, незалежна контррейка);
- вертикальні сили, що діють на рейки;
- горизонтальні та вертикальні переміщення рейкових елементів.

Крім наведених вище показників, були визначені горизонтальні сили взаємодії рухомого складу та перевалу, горизонтальні переміщення брусів, напруження в спеціальних підкладках, що укладаються в межах незалежної контррейки, та вертикальна жорсткість перевалу.

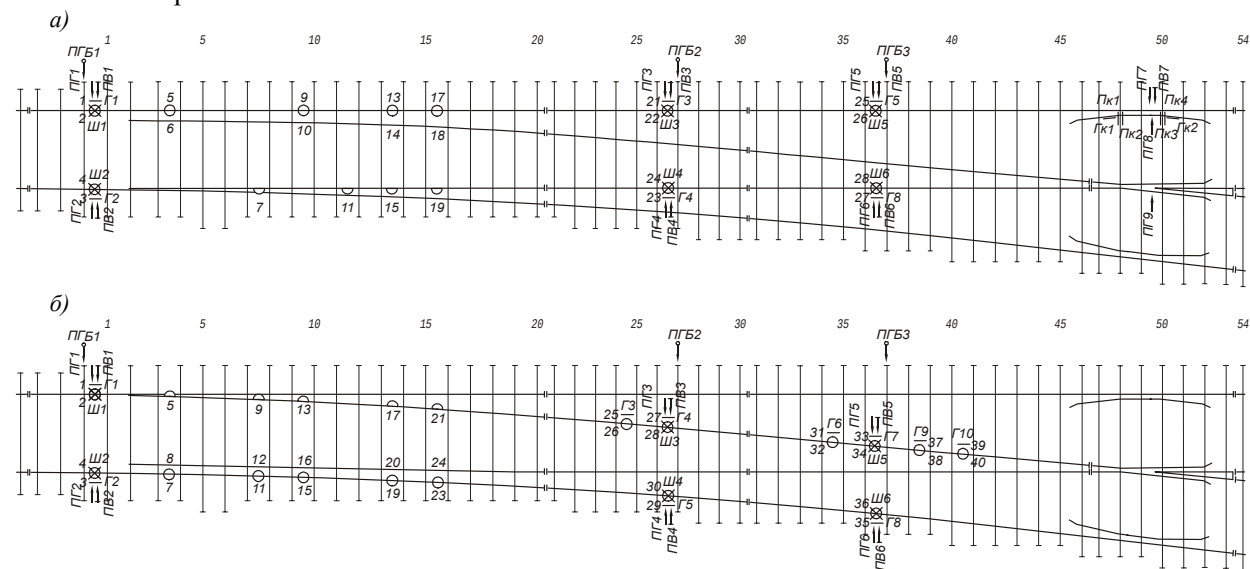
Допустимі величини сил, деформацій та напружень в елементах стрілочного перевалу становлять:

1. Напруження в кромках, МПа:
 - гостряки275;
 - контррейки330;
 - решта елементів.....250.
2. Вертикальні сили взаємодії колеса та рейки в межах стрілки та з'єднувальної частини, кН.....200.
3. Переміщення рейкових елементів, мм:
 - вертикальні10;
 - горизонтальні4.

Допустимі напруження в спеціальних підкладках, що укладаються в межах незалежної контррейки, визначалися з таких міркувань. Ці підкладки виготовляються з листової сталі марки СтЗпс або СтЗсп. Згідно з [2], для листового прокату товщиною 20 мм зі сталі марок СтЗпс і СтЗсп умовна границя плинності ($\sigma_{0,2}$) становить не менше 235 МПа. Тому, з урахуванням коефіцієнту запасу відповідно до [3], допустиме напруження для такої сталі під час вигину складає 200 МПа.

Місця встановлення приладів визначалися на підставі аналізу напружень у зовнішніх кромках підшов рейок, одержаних під час спробних поїздок дослідного поїзда по перевалу з різними швидкостями (прилади встановлювалися в 20 перерізах по довжині перевалу, поїзд рухався зі швидкостями 20...80 км/год по прямому напрямку та 20, 40 км/год – по боковому). Остаточні схеми установки приладів по прямому і боковому напрямках дослідного перевалу наведені на рис. 1 (прилади «Лк» розміщувалися на тих підкладках, де закінчується пряма частина контррейки та починається її відхилення). Більш детально місця установки приладів «Гк» та «Лк» показано на рис. 2.

Для реєстрації напружень у металевих частинах перевалу й вертикальних сил, що передаються від коліс на рейки, використовувалися тензорезистори типу КФ5П1 прямокутні з базою 20 мм та номінальним опором 200 Ом



Умовні позначення:

- ШХ – прилад для вимірювання вертикальних сил, що діють на рейкові елементи;
- Г – прилади для вимірювання напружень, відповідно, в кромці підшви та головки рейки;
- ПВ, ПГ – прилади для вимірювання, відповідно, вертикальних і горизонтальних переміщень рейки;
- ПГБ – прилад для вимірювання горизонтальних переміщень бруса;
- Гк, Лк – прилади для вимірювання напружень, відповідно, в неробочій грані контррейки та на верхній поверхні спеціальної стрілочної підкладки

Рис. 1. Схеми установки приладів: а) по прямому напрямку перевалу; б) по боковому

(ТВ 3.06 України 7710-0001-93). Для визначення напружень у підшві рейки та гостряка тензорезистори наклеювалися в межах внутрішньої та/або зовнішньої кромки (на відстані 5...7 мм від кромки). Парний номер приладу означає, що він розташований на внутрішній кромці, непарний – на зовнішній.

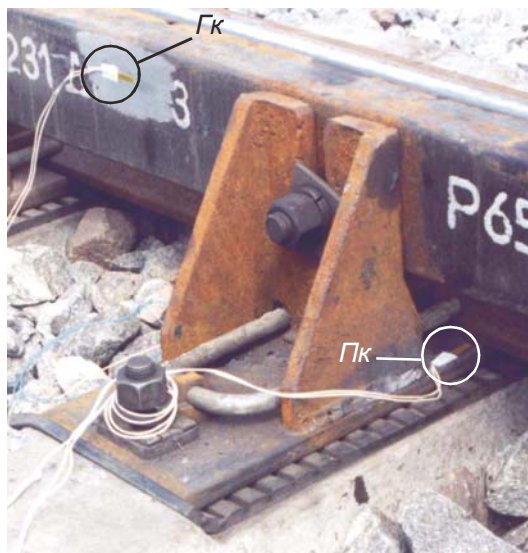


Рис. 2. Розташування приладів у межах незалежної контррейки

Вертикальні сили визначалися за методикою Колієвипробувальної ГНДЛ (КГНДЛ) ДПТУ, горизонтальні сили розраховано за методом д-ра техн. наук О. П. Єршкова. Деформації рейкових елементів стрілочних переводів та брусів визначалися за допомогою прогиномірів типу ЦНИИ.

Процеси реєструвалися шлейфовими осцилографами типу Н-010 на осцилографний папір інформаційно-вимірювальним комплексом вагона-лабораторії КГНДЛ, що розміщувався поблизу дослідної ділянки.

Статистична обробка одержаних результатів базується на твердженні, що у більшості випадків показники напружено-деформованого стану переводу – це випадкові величини, які підпорядковуються закону нормального розподілу (якщо закон розподілу відрізняється від нормального – у цьому випадку аналізуються тільки екстремальні експериментальні значення).

Показання кожного приладу об'єднувалися в окремі вибірки залежно від швидкості дослідного поїзда, його напрямку руху (ПРШ або ПШ), типу рухомого складу та навантаження на вісь.

Дані, одержані під час руху поїзда по прямому напрямку, об'єднувалися у відповідні вибірки для кожного з екіпажів без розподілу на окремі осі. Для бокового напрямку показання,

одержані під впливом перших та других за напрямком руху поїзда осей візків вагонів, об'єднувалися у різні вибірки, а вплив кожної осі електровоза на перевід розглядався окремо.

Для кожної такої вибірки за стандартною методикою визначалися основні характеристики випадкової величини: статистичні середнє значення (математичне сподівання) та середнє квадратичне відхилення. Ці величини використовувалися для розрахунку максимальних ймовірних значень показників напружено-деформованого стану переводу при прийнятому в розрахунках колії на міцність рівні ймовірності неперевикнення 0,994 [4].

Одержані результати узагальнювалися окремо для стрілки, з'єднувальної частини та хрестовини відповідно до типу рухомого складу та його швидкості за таким алгоритмом: спочатку для кожного приладу визначалось найбільше значення по групах осей, далі – найбільше з обох напрямків (ПШ та ПРШ), і на останку визначався прилад з найбільшим максимальним ймовірним (або спостереженим) значенням, яке й порівнювалося з відповідною допустимою величиною.

За винятком деяких застережень, наведених у тексті статті, усі висновки, подані нижче, стосуються тільки максимальних ймовірних значень величин.

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЕРЕВОДУ ПІД ЧАС РУХУ ДОСЛІДНОГО ПОЇЗДА ПО ПРЯМОМУ НАПРЯМКУ

Одержані найбільші максимальні ймовірні величини (з відповідними середніми значеннями) досліджуваних параметрів відповідно до типу екіпажа та швидкості його руху наведено в табл. 2 - 5.

Для всіх показників та екіпажів спостерігається певне зростання величини зі збільшенням швидкості. Зміна швидкості з 20 до 80 км/год призводить до збільшення напружень, вертикальних сил та переміщень на 5...30 %, а горизонтальних сил та переміщень рейок і брусів в 1,4...2,2 разу. Зі збільшенням навантаження на вісь абсолютні величини напружень, сил та переміщень теж збільшуються – найбільші значення одержано під впливом локомотива серії ВЛ8 та піввагона з навантаженням на вісь 24 т.

Напруження в рейкових елементах. Напруження в рейках визначалися в неробочій кромці головки та в обох кромках підшви. Напруження в неробочій кромці головки використовувалися лише для визначення горизонтальної сили, що діє на рейки, тому як самостійна величина не аналізувалися. Щодо кромочних

напружень: незалежно від типу екіпажа та швидкості найбільші напруження завжди спостерігалися в зовнішніх кромках рейок – вони

перевищували напруження у внутрішніх кромках в середньому на 25 %, хоча в деяких випадках різниця доходила до 100 %.

Таблиця 2

Середні ($\bar{\sigma}$) та максимальні ймовірні ($\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$) величини напружень у рейкових елементах, одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, МПа

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		20		40		60		80		100		120	
	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{max}}^{\text{й}}$
Рамні рейки														
ВЛ8	97,2	124,6	91,4	126,0	88,2	121,0	92,6	131,7	86,0	127,7	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	37,1	55,3	37,5	60,4	46,3	71,0	33,4	69,2	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	65,3	87,1	68,3	102,8	76,2	109,7	70,5	106,8	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	76,0	111,1	83,0	117,4	87,7	130,3	86,6	125,1	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	74,1	95,6	75,2	102,6
Гостряк														
ВЛ8	89,0	108,5	96,2	122,7	91,4	123,5	98,3	134,1	104,0	140,4	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	39,2	58,7	33,5	49,2	39,1	60,7	39,8	61,7	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	87,2	111,3	87,4	113,0	94,2	129,2	94,3	139,6	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	97,8	117,7	98,5	124,8	104,3	135,3	107,2	142,0	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	93,2	131,0	88,7	115,1
З'єднувальна частина														
ВЛ8	65,3	84,2	77,8	108,3	72,5	108,7	74,2	106,5	69,3	104,4	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	27,8	44,6	28,7	41,6	23,9	41,8	27,5	54,8	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	56,1	78,9	55,5	83,9	56,8	80,6	58,3	91,9	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	69,9	99,2	63,1	91,1	70,5	100,6	73,3	104,2	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	63,5	95,7	64,3	90,9

Величини напружень суттєво залежать від місця розташування приладу: для гостряка різниця доходить до 300 % (причиною такої мінливості є не тільки особливості прямовання рухомого складу по стрілочному переводу, а й наявність вертикального стругання його головки), для решти рейкових елементів – до 200 %. Для всіх екіпажів максимальні значення напружень спостерігалися приблизно в одних і тих же місцях, хоча для деяких положення максимуму дещо змінюються залежно від швидкості.

Максимальні значення напружень у межах рамних рейок склали 127,7 МПа (прилад «5»), гостряка – 142 МПа (прилад «15»), з'єднувальної частини – 108,7 МПа, що не перевищує допустимих значень.

Напруження в спеціальних підкладках та контррейці. Характер розподілу та кількісні значення напружень залежать від напрямку руху дослідного поїзда. Для протишерстного напрямку максимуми реєструються приладами «Лк1» та «Лк2», для пошерстного – приладами «Лк3» і «Лк4». Зіставлення горизонтальних переміщень контррейки та напружень у її неробочій грані з напруженнями на поверхні підкладки вказує на те, що величини напружень та їх знаки обумовлюються горизонтальною взаємодією коліс з контррейкою: якщо маємо удар колеса в контррейку (спостерігається перемі-

щення контррейки всередину колії та різка зміна показань датчика «Гк»), у цей же момент приладом «Лк» фіксується напруження розтягнення (знак «+»), у разі відсутності удару спостерігається напруження стискання («-»). Зі збільшенням величини удару зростають і величини напружень. Однозначна залежність між величиною удару та швидкістю екіпажа не виявлена, тому аналіз виконувався для кожного приладу залежно від напрямку руху дослідного поїзда, але без розподілу за швидкостями.

Найбільше напруження зареєстровано приладом «Лк1» під колесами електровоза серії ВЛ8. Розподіли напружень залежно від напрямку руху дослідного поїзда наведено на рис. 3 (розподіли напружень, зареєстрованих приладами «Лк2» – «Лк4», аналогічні). Поява другого екстремуму пояснюється тим, що під час руху в протишерстному напрямку значна кількість коліс уловлюється відхиленням контррейки, що призводить до помітної кількості ударів коліс об контррейку. При пошерстному напрямку удари в цьому місці відсутні.

Одержані результати вказують на те, що напруження на верхній поверхні підкладки, що розташована на брусі № 48, під дією коліс електровоза серії ВЛ8 у 13 % випадків перевищують допустимі.

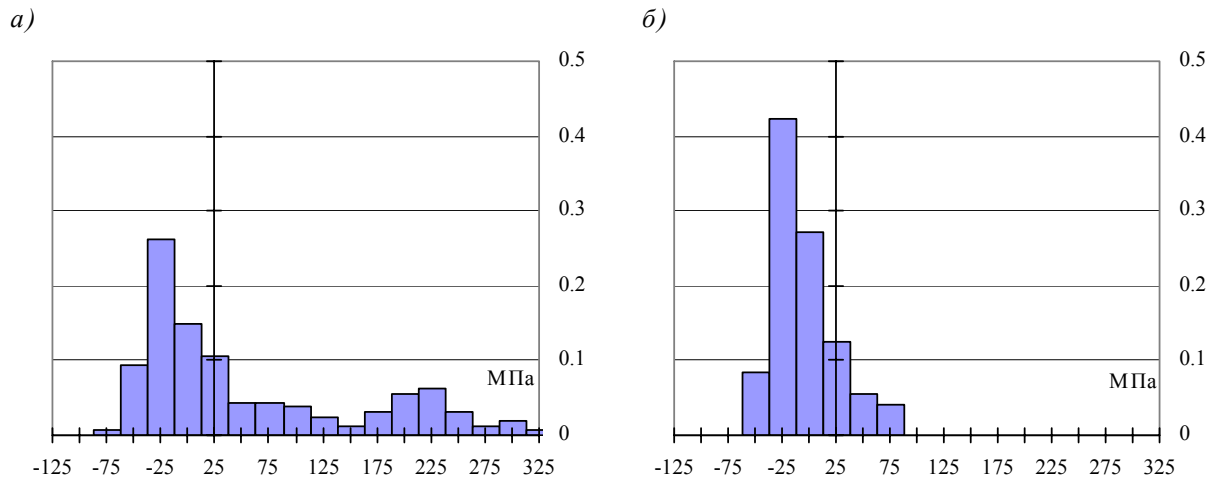


Рис. 3. Розподіл напружень у спеціальній стрілочній підкладці («Лк1»):
а) напрямком ПРШ; б) напрямком ПШ

Якісні характеристики розподілів напружень, зареєстрованих у неробочій грані контррейки (прилади «Гк1» і «Гк2»), найбільшою мірою збігаються з розподілами напружень, зафіксованих приладами, відповідно, «Лк1» та «Лк4». Зважаючи на те, що ці розподіли відрізняються від нормального закону, у табл. 3 наведено лише інтервали експериментальних значень. Їх максимальні величини не перевищують допустимих.

Вертикальні сили та переміщення рейок. По довжині перевалу величини сил змінюються менше, ніж залежно від напрямку руху дослідного поїзда. Місця екстремумів сил та переміщень рейки збігаються та не залежать від типу рухомого складу. Спостерігається хороший якісний збіг обох процесів. Максимальні значення сил у межах рамних рейок досягли 187,9 кН, з'єднувальної частини – 198,2 кН; найбільше вертикальне переміщення рейок по довжині перевалу у всьому діапазоні швидкостей становить 3,4 мм, що не перевищує відповідних допустимих значень.

Горизонтальні сили та переміщення рейок і брусів, зміна ширини колії. Максимальні значення горизонтальних сил у межах рамних рейок складають 35,3 кН, з'єднувальної частини – 40,4 кН. При швидкостях 5...40 км/год в

деяких перерізах спостерігались від'ємні значення сил (напрямок дії сили не назовні колії, а всередину), але більші за модулем значення припадають на сили, спрямовані назовні. Розташування максимумів не залежить від типу екіпажа та відрізняється від розташування максимумів вертикальної сили.

Якісні характеристики горизонтальних переміщень головки рейки та сил подібні в межах переднього вильоту рамних рейок та відрізняються в з'єднувальній частині. По довжині перевалу найбільше за модулем горизонтальне переміщення складає 1,2 мм та направлене всередину колії – це можна пояснити незначними величинами горизонтальних сил.

Розподіли переміщень ходових рейок та контррейок у межах хрестовинного вузла не відповідають нормальним. Тут наявні два процеси: в одному випадку колісна пара прямує через хрестовинний вузол без контакту з контррейкою – ходова рейка разом з контррейкою рухаються назовні колії (переміщення рейки додатні, контррейки – від'ємні), у іншому колесо вдарається об контррейку і контррейка разом з ходовою рейкою зміщується всередину колії (знаки переміщень рейки та контррейки протилежні наведеним вище). Найбільші значення переміщень рейки досягають -2,9 мм,

Таблиця 3

Напруження в неробочій грані контррейки, МПа

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год						
	5	20	40	60	80	100	120
ВЛ8	-7,4...93,4	-8,0...201,5	-14,0...159,4	-21,2...154,6	-26,8...149,9	–	–
Порожній піввагон	–	-7,6...46,2	-11,4...89,9	-12,7...118,4	-17,4...123,2	–	–
Піввагон 17,9 т/вісь	–	4,2...109,7	-10,0...147,2	-16,6...133,5	-40,1...107,0	–	–
Піввагон 24,0 т/вісь	–	-11,8...59,6	-7,8...99,0	-11,1...75,6	-27,3...45,6	–	–
ЧС2	–	–	–	–	–	-1,5...126,8	4,2...153,9

**Середні ($\bar{P}$) та максимальні ймовірні ($P_{\max}^i$) величини вертикальних сил,
одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, кН**

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		20		40		60		80		100		120	
	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$
Рамні рейки														
ВЛ8	112,6	143,3	130,1	153,7	128,5	161,0	135,5	174,4	127,2	171,5	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	27,8	54,0	33,3	65,6	37,6	61,9	30,1	56,0	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	115,8	161,4	124,3	163,1	130,4	173,0	129,2	181,6	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	142,4	167,4	160,5	179,6	150,1	184,4	149,9	187,9	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	120,0	159,3	119,0	172,9
З'єднувальна частина														
ВЛ8	114,2	144,5	135,3	176,4	126,3	171,5	143,8	189,4	134,1	180,2	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	35,5	61,2	33,2	54,5	35,5	66,9	35,1	61,4	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	110,3	152,7	111,7	148,9	115,9	156,3	100,5	141,0	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	145,6	180,9	135,2	173,9	157,0	198,2	146,4	188,3	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	105,8	156,6	133,5	179,0

Таблиця 5

**Середні ($\bar{H}$) та максимальні ймовірні ($H_{\max}^i$) величини горизонтальних сил,
одержані під час руху дослідного поїзда по прямому напрямку, кН**

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год													
	5		20		40		60		80		100		120	
	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$
Рамні рейки														
ВЛ8	7,5	23,7	5,9	25,5	4,7	19,1	7,3	29,3	10,8	35,3	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	-2,8	-9,7	1,2	9,7	1,1	15,4	1,8	12,9	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	3,3	14,3	1,6	13,8	4,4	19,8	3,9	17,5	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	0,0	18,4	0,2	15,1	5,5	18,6	6,5	16,7	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,9	22,9	2,0	26,7
З'єднувальна частина														
ВЛ8	5,5	21,6	6,2	26,5	4,6	25,5	7,3	27,4	13,0	40,4	—	—	—	—
Порожній піввагон	—	—	0,7	12,6	0,8	10,7	3,9	13,2	4,7	23,8	—	—	—	—
Піввагон 17,9 т/вісь	—	—	5,0	12,6	2,2	20,4	7,2	20,7	9,1	15,9	—	—	—	—
Піввагон 24,0 т/вісь	—	—	5,7	16,7	5,6	19,1	9,6	29,0	12,8	26,2	—	—	—	—
ЧС2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,2	23,6	7,8	24,7

контррейки 2,3 мм, хрестовини -1,5 мм, що не перевищує допустимої величини (інтервали їх змін знаходяться в межах -2,9...1,4 мм, -0,5...2,3 мм та -1,5...1,2 мм, відповідно).

У межах переднього вильоту рамних рейок спостерігалось збільшення ширини колії (до 0,9 мм), а в інших частинах – звуження. Максимальна величина звуження досягає 1,6 мм у межах з'єднувальної частини та 3,2 мм у межах хрестовинного вузла за середніх значень близько 1 мм (локомотив серії ВЛ8).

Найбільше горизонтальне переміщення бруса склало 0,4 мм (прилад «ПГБЗ»).

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПЕРЕВОДУ ПІД ЧАС РУХУ ДОСЛІДНОГО ПОЇЗДА ПО БОКОВОМУ НАПРЯМКУ

Результати досліджень напружень, сил та деформацій, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, наведено в

табл. 6 – 10. Практично у всіх випадках найбільші значення показників зареєстровано під колесами електровоза серії ВЛ8.

Напруження в рейкових елементах. Аналіз напружень у зовнішніх та внутрішніх кромках підшви рейок, одержаних під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку переводу, вказує на наявність більшої різниці між ними порівняно з напруженнями, одержаними під час руху поїзда по прямому напрямку. Напруження в зовнішніх кромках перевищують напруження у внутрішніх у середньому в 2,4 разу, доходячи до 9 раз. Це вказує на те, що горизонтальні поперечні сили, що діють на перевід під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, суттєво більші, ніж під час руху по прямому.

Величини напружень у рамних рейках залежать від напрямку руху дослідного поїзда та типу екіпажа. Найбільше значення зафіксовано в передньому вильоті під час пошерстного руху

дослідного поїзда зі швидкістю 15 км/год – 203,2 МПа. Слід відмітити, що напруження в рейках переднього вильоту, що зареєстровані під час пошерстного руху дослідного поїзда, суттєво більші за напруження, одержані в разі протишерстного.

Незалежно від напрямку руху дослідного поїзда та його швидкості, найбільші напруження в підшві гостряка спостерігалися за межами його горизонтального стругання в перерізах, де встановлено прилади «17» та «21» (прилади «5», «9», «13» знаходяться в частині гостряка, де він прилягає до рамної рейки, тому горизонтальна сила тут сприймається не тільки гостряком, а й безпосередньо рамною рейкою; беручи до уваги також наявність тут вертикального стругання головки гостряка, зменшення напружень у цих перерізах відносно перерізів гостряка, розташованих ближче до кореня, цілком закономірне). Найбільша величина зареєстро-

вана у випадку протишерстного руху зі швидкістю 50 км/год і складає 214,3 МПа.

У з'єднувальній частині незалежно від швидкості максимальні напруження в зовнішній (напрямній) рейці перевищували екстремальні напруження у внутрішній рейці. Місця розташування найбільших напружень по довжині перевідної кривої залежать від типу екіпажа, швидкості та напрямку руху дослідного поїзда. Але найчастіше вони реєструвалися приладами «31», «33» та «37». Найбільша величина зафіксована при швидкості 50 км/год – 203,2 МПа.

Таким чином, у рейкових елементах дослідного стрілочного переводу напруження не перевищують допустимих.

Вертикальні сили та переміщення рейок.

Максимальні значення вертикальних сил одержано при швидкості 50 км/год і складають 204 кН для переднього вильоту рамних рейок

Таблиця 6

Середні ($\bar{\sigma}$) та максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^i$) величини напружень у рейкових елементах, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, МПа

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$
Рамні рейки										
ВЛ8	142,5	165,6	176,0	203,2	168,3	186,2	160,0	186,9	147,2	182,6
Порожній піввагон	32,2	51,9	39,3	58,1	34,6	48,6	34,6	52,1	27,7	44,5
Піввагон 17,9 т/вісь	92,2	128,2	110,5	128,3	98,8	120,0	93,6	122,1	92,5	125,3
Піввагон 24,0 т/вісь	105,1	142,8	144,1	195,0	137,4	176,2	145,8	170,4	129,4	164,8
Гостряк										
ВЛ8	114,9	140,3	145,9	178,3	154,3	171,0	148,7	188,5	180,9	214,3
Порожній піввагон	41,0	53,4	49,7	71,3	52,2	65,1	54,7	77,0	62,9	83,4
Піввагон 17,9 т/вісь	109,5	131,5	141,1	173,9	142,1	159,9	158,2	194,0	166,2	202,3
Піввагон 24,0 т/вісь	94,2	119,2	111,4	146,3	110,5	142,7	124,0	161,3	143,3	179,3
З'єднувальна частина										
ВЛ8	138,9	176,0	173,2	192,2	155,6	194,5	154,3	196,6	171,2	203,2
Порожній піввагон	28,7	40,4	29,1	50,9	29,1	46,2	29,7	55,2	34,2	54,0
Піввагон 17,9 т/вісь	121,6	150,8	117,8	157,4	138,1	162,7	150,2	181,2	140,3	176,7
Піввагон 24,0 т/вісь	108,2	138,3	112,1	150,7	134,6	166,9	139,6	158,4	120,7	144,5

Таблиця 7

Середні ($\bar{P}$) та максимальні ймовірні ($P_{\max}^i$) величини вертикальних сил, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, кН

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$
Рамні рейки										
ВЛ8	152,8	189,2	173,1	196,3	162,6	190,2	157,3	195,8	155,3	204,0
Порожній піввагон	28,0	43,9	40,7	69,1	36,6	65,9	41,1	72,6	25,6	58,3
Піввагон 17,9 т/вісь	131,2	158,6	141,2	179,2	139,2	183,6	157,3	182,9	146,3	189,9
Піввагон 24,0 т/вісь	121,4	161,8	149,7	190,4	147,7	180,8	146,6	177,0	134,3	181,3
З'єднувальна частина										
ВЛ8	137,8	182,6	161,9	197,2	160,3	191,9	161,7	203,6	170,6	200,0
Порожній піввагон	35,3	51,7	33,3	72,5	30,1	50,4	38,3	69,4	40,3	62,1
Піввагон 17,9 т/вісь	137,7	152,8	133,3	181,1	144,1	183,5	148,6	194,0	150,1	201,3
Піввагон 24,0 т/вісь	123,5	150,5	142,2	181,2	120,7	181,3	128,9	171,9	137,8	175,5

Таблиця 8

**Середні ($\bar{H}$) та максимальні ймовірні ($H_{\max}^i$) величини горизонтальних сил,
одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, кН**

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$
Рамні рейки										
ВЛ8	70,5	84,0	101,7	126,7	91,5	114,7	88,5	108,5	77,5	107,3
Порожній піввагон	11,8	18,7	14,3	29,1	10,0	25,4	16,1	25,1	11,3	27,2
Піввагон 17,9 т/вісь	37,5	45,9	72,2	94,2	62,9	79,6	51,0	74,2	51,6	75,7
Піввагон 24,0 т/вісь	56,6	74,7	97,2	110,1	79,9	104,6	79,4	99,1	68,4	96,2
З'єднувальна частина										
ВЛ8	84,6	97,2	111,2	129,3	100,2	132,2	88,9	116,7	92,5	120,8
Порожній піввагон	8,4	19,7	15,2	27,9	16,3	26,0	15,2	30,7	16,1	29,1
Піввагон 17,9 т/вісь	77,1	83,7	68,0	95,5	77,4	92,4	87,9	111,1	81,2	101,6
Піввагон 24,0 т/вісь	52,7	66,6	70,3	92,9	67,2	85,7	77,6	93,8	59,8	82,6

Таблиця 9

**Середні ($\bar{y}$) та максимальні ймовірні ($y_{\max}^i$) величини горизонтальних переміщень
рейкових елементів, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, мм**

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$
Рамні рейки										
ВЛ8	1,99	2,24	2,77	3,33	2,39	3,01	2,04	2,57	1,82	2,50
Порожній піввагон	0,58	0,72	0,83	1,14	0,76	1,07	0,65	0,97	0,70	1,06
Піввагон 17,9 т/вісь	1,12	1,31	1,70	1,98	1,37	1,90	1,12	1,67	1,12	1,64
Піввагон 24,0 т/вісь	1,28	1,54	1,99	2,22	1,67	2,23	1,31	1,89	1,18	1,73
З'єднувальна частина										
ВЛ8	1,92	2,34	2,75	3,41	2,23	3,27	2,03	2,65	1,93	2,52
Порожній піввагон	-0,54	-1,10	0,70	0,85	0,47	0,81	0,38	0,79	0,48	0,84
Піввагон 17,9 т/вісь	1,44	1,84	1,81	2,16	1,39	1,90	1,20	1,70	1,38	1,88
Піввагон 24,0 т/вісь	1,02	1,36	1,95	2,57	1,17	1,92	1,16	1,61	1,17	1,72

Таблиця 10

**Середні ($\bar{\Delta}$) та максимальні ймовірні ($\Delta_{\max}^i$) величини зміни ширини
колії, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, мм**

Рухомий склад	Швидкість руху, км/год									
	5		15		25		40		50	
	$\bar{\Delta}$	$\Delta_{\max}^i$	$\bar{\Delta}$	$\Delta_{\max}^i$	$\bar{\Delta}$	$\Delta_{\max}^i$	$\bar{\Delta}$	$\Delta_{\max}^i$	$\bar{\Delta}$	$\Delta_{\max}^i$
Рамні рейки										
ВЛ8	2,39	3,14	3,32	4,10	3,15	3,78	2,98	3,76	3,12	3,85
Порожній піввагон	0,69	0,94	1,08	1,51	0,96	1,42	0,81	1,28	0,89	1,40
Піввагон 17,9 т/вісь	1,77	2,03	3,23	3,48	2,71	3,26	1,77	2,53	1,99	2,69
Піввагон 24,0 т/вісь	2,37	2,96	3,48	3,83	3,03	3,66	2,78	3,19	2,23	2,94
З'єднувальна частина										
ВЛ8	1,57	2,10	3,17	3,47	1,96	2,59	2,60	3,31	3,09	3,86
Порожній піввагон	-0,55	-1,10	0,98	1,35	0,63	1,26	0,69	1,35	0,83	1,53
Піввагон 17,9 т/вісь	2,40	3,21	3,25	3,85	2,63	3,35	2,68	3,38	2,20	3,06
Піввагон 24,0 т/вісь	1,38	1,90	3,22	3,80	2,41	2,99	1,97	2,65	2,32	2,99

та 203,6 кН для з'єднувальної частини. Це більше за допустиму величину на 2 %, що не є статистично значущим.

Вертикальні переміщення, одержані під час руху дослідного поїзда по боковому напрямку, практично не відрізнялися від переміщень, одержаних під час руху по прямому напрямку.

Горизонтальні сили та переміщення рейок і брусів, зміна ширини колії. Якісні картини напружень, горизонтальних сил та переміщень головки добре збігаються між собою, що підтверджує тісний зв'язок між напруженнями в зовнішніх кромках та горизонтальними силами.

Максимальні значення горизонтальних сил та переміщень у межах рамних рейок складають, відповідно, 126,7 кН та 3,3 мм, для з'єднувальної частини – 132,2 кН та 3,4 мм. Максимуми зареєстровано при швидкостях дослідного поїзда 15...25 км/год. Переміщення направлені назовні колії.

Залежності зміни ширини колії від швидкості теж добре збігаються з графіками горизонтальних сил. Максимальне значення збільшення ширини колії складає 4,1 мм для переднього вильоту рамної рейки та 3,9 мм – для з'єднувальної частини.

Залежність горизонтальних переміщень брусів та відповідних горизонтальних сил від швидкості подібні: максимальне значення досягає 0,7 мм при швидкості 15 км/год («ПГБ1»). Напрямок переміщення бруса збігається з напрямком дії бокової сили.

ВЕРТИКАЛЬНА ЖОРСТКІСТЬ ПЕРЕВОДУ

Вертикальна жорсткість дослідного переводу визначалася за допомогою спеціального на-

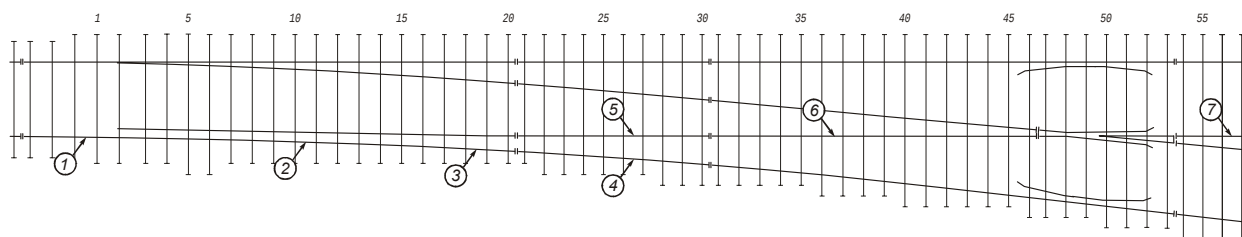


Рис. 4. Місця визначення жорсткості дослідного переводу

ВИСНОВКИ

1. Основні показники напружено-деформованого стану стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01, одержані під час його натурного випробування на міцність, не перевищують допустимих величин при всіх реалізованих швидкостях руху дослідного поїзда (по прямому напрямку – до 120 км/год, по боковому – до 50 км/год).

2. Величини напружень, що зареєстровані в спеціальній контррейковій стрілочній підкладці, розташованій на брусі № 48, під колесами локомотива серії ВЛ8 перевищують допустимі напруження у 13 % випадків. Зважаючи на невелику кількість осей локомотива в поїзді в порівнянні з кількістю осей вагонів, одержані дані не можуть впливати на допустимі швидкості поїздів, але вказують на те, що конструкція незалежної контррейки в стрілочних переводах проекту 65109Ж-01 потребує додаткових випробувань – насамперед з метою визначення її нормативного та гарантійного термінів служби.

вантажувального пристрою, що змонтований у вагоні-лабораторії КГНДЛ (спеціально обладнаний критий вагон), за відповідною апробованою методикою. Місця визначення жорсткості наведено на рис. 4. Під час дослідження навантаження змінювалося від 0 до 120 кН.

Одержані залежності осідання рейки від навантаження мають нелінійний характер: найбільша кривизна спостерігалась на ділянці навантаження від 0 до 50 кН, далі від 50 до 100 кН майже лінійна ділянка, і в кінці теж нелінійна ділянка, але з меншою кривизною, ніж на початку. Максимальному значенню жорсткості відповідає лінійна ділянка.

Вертикальна жорсткість дослідного стрілочного переводу за окремими перерізами становить, кН/мм:

1.....	31,2;
2.....	57,1;
3.....	38,5;
4.....	57,1;
5.....	43,0;
6.....	49,4;
7.....	35,6.

3. Слід відзначити, що значна кількість нових конструктивних рішень, втілених у цьому переводі, зараз застосовується під час розробки нових переводів та модернізації переводів, що були розроблені раніше.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. ЦП-0050 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 06.04.98. № 82-Ц. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с.
2. Марочник сталей и сплавов [Текст] / В. Г. Сорокин и др.; под общ. ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200–62) [Текст]. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 328 с.
4. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 13.12.04. № 960-Ц / Укрзалізниці. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.

Надійшла до редколегії 22.12.2009.

Прийнята до друку 28.12.2009.

ВПЛИВ ШИРИНИ КОЛІЇ В МЕЖАХ ПЕРЕВІДНОЇ КРИВОЇ ЗВИЧАЙНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ НА ВЗАЄМОДІЮ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ

У даній роботі аналізується вплив ширини колії та ухил її відводу на взаємодію колії та рухомого складу в межах перевідної кривої за допомогою методів математичного моделювання. Отримано рамні сили для прийнятого діапазону ширини колії та ухилу її відводу.

В данной работе анализируется влияние ширины колеи и уклона её отвода на взаимодействие пути и подвижного состава в пределах переводной кривой с помощью методов математического моделирования. Получены рамные силы для принятого диапазона ширины колеи и уклона её отвода.

In this paper the effect of track gauge and the bias of its tap on the track/rolling stock interaction in a conversion curve by methods of mathematical simulation is analyzed. The frame forces obtained for the accepted range of track gauges and biases of its tap are determined.

Ширина колії є однією з найголовніших характеристик колії, яка забезпечує безпеку руху поїздів. На сьогодні існують нормативи ширини колії в межах стрілочних переводів, але не існує нормованих ступенів відступів по впливу на безпеку руху, плавність ходу та інтенсивність накопичення залишкових деформацій.

Вплив ширини колії в межах стрілочного переводу на показники безпеки руху аналізувався в роботах [1 – 5]. Теоретичною основою більшості зазначених робіт було використання відомих [2] залежностей при ударі абсолютно жорстких тіл. Використання цього методу не дає можливості аналізувати взаємодію екіпажу та стрілочного переводу в часі. В експериментальній частині досліджень [3 – 4] використо-

увалась дуже мала кількість тензометричних датчиків, що не давало можливості повною мірою аналізувати вплив ширини колії на напружено-деформований стан колії. Лише в роботі [5] було виконано комплексні випробування стрілочних переводів з відхиленнями від допусків утримання в плані та профілі, але в цій роботі були дуже загальні висновки відносно впливу ширини колії на показники безпеки руху поїздів.

Проаналізуємо вплив ширини колії та ухилу її відводу в межах бокового напрямку стрілочного переводу. Для цієї мети було створено математичну модель взаємодії вантажного напіввагону та стрілочного переводу [6], схема якої зображена на рис. 1.

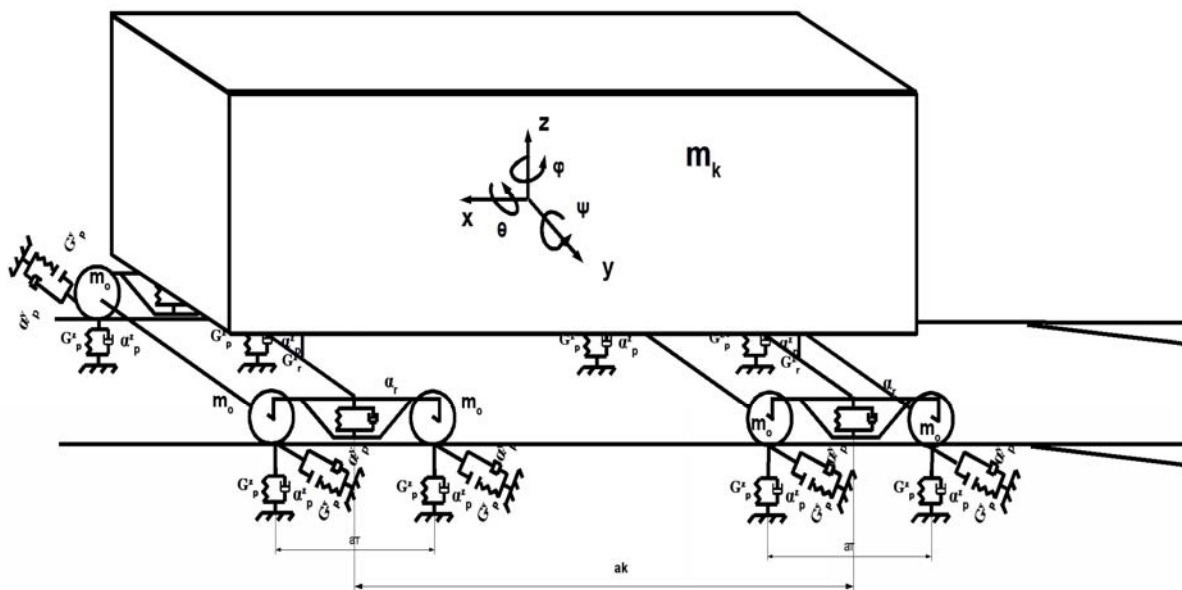


Рис. 1. Схема просторової математичної моделі вантажного напіввагона.

Особливу увагу в математичній моделі було приділено блоку, який описує взаємодію колісної пари та рейкової колії, тому що наближення результатів теоретичних дослідів динаміки екіпажу до його реальних динамічних властивостей визначається в першу чергу коректністю описання та ступенем наближення алгоритму описання руху колісної пари в рейковій колії до тих фізичних процесів, які існують в реальних умовах руху та мають найбільший вплив на рівень сил між колесом і рейкою. Рух колісної пари в рейковій колії визначається силами, що обумовлені її взаємодією з рейками та елементами екіпажу, а також геометричними параметрами колісної пари та рейкової колії. На рис. 2 показано схему до визначення положення осі екіпажу та відповідно сил взаємодії.

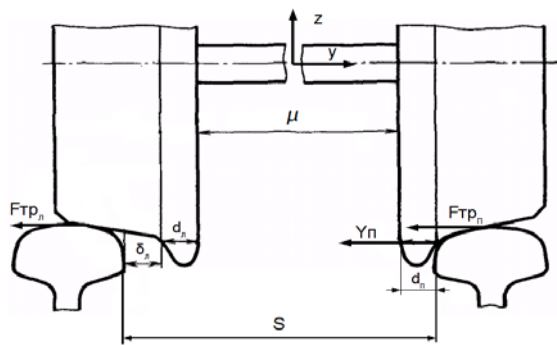


Рис. 2. Схема для визначення сил взаємодії між віссю екіпажу та рейковою колією:

$F_{тр}$ – проекція на поперечну вісь y сил тертя між рейкою та колесом зліва та справа відповідно;
 S – ширина колії; $\delta_{лп}$ – зазор між робочими гранями рейки та гребеня зліва та справа відповідно;
 $Y_{л,п}$ – направляюча сила між рейкою та колесом

Сили взаємодії між рейковою колією та віссю екіпажу відповідно до схеми на рис. 2 визначаються за допомогою наступних залежностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{для } \delta_{л} > y \geq \delta_{п}: \\ H_{л} = F_{тр_л} \\ H_{п} = F_{тр_п} + Y_{п}; \\ \text{для } \delta_{л} > y < \delta_{п}: \\ H_{л} = F_{тр_л} \\ H_{п} = F_{тр_п}; \\ \text{для } \delta_{л} \leq y < \delta_{п}: \\ H_{л} = F_{тр_л} + Y_{л} \\ H_{п} = F_{тр_п}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де $H_{лп}$ – бокова сила між рейкою та колесом зліва та справа відповідно;

Направляюча сила між рейкою та колесом визначається за формулою:

$$Y_{л,п} = z_{г} \cdot G_{п}^y, \quad (2)$$

де $z_{г}$ – поперечна деформація рейки; $G_{п}^y$ – поперечна жорсткість рейки.

Сила тертя $F_{тр} = x \cdot P \cdot \frac{u}{v}$ визначається за наступною формулою:

$$F_{тр} = x \cdot P \cdot \frac{u}{v}, \quad (3)$$

де x – коефіцієнт кріпа; P – вертикальне навантаження від колеса на рейку; u – швидкість проковзування колеса по рейці; v – швидкість руху екіпажу.

Відомо [3, 7], що на прямих ділянках із зростанням ширини колії зростає величина рамних сил. Це пояснюється збільшенням запасу кінетичної енергії в горизонтальному напрямку між колесом та рейкою при виланні. Дана обставина врахована в нормах швидкості руху поїздів залежно від відступів за шириною колії [8]. При русі в межах перевідної кривої стрілочного переводу вилання екіпажу відсутнє, колесо першої осі візка, яке набігає, притиснуто до упорної рейки. Експериментально ця обставина підтверджується рівнем рамних сил, які діють на перші за напрямком руху колісні пари першого візка екіпажу [10]. Отже ширина колії в межах перевідної кривої не впливає на накопичення кінетичної енергії в системі «екіпаж–колія» через відсутність вилання екіпажу.

Вхідними даними до моделі є геометрія перевідної кривої найбільш масового проекту стрілочного переводу № 1740. Ширина колії в межах бокового напрямку приймалась постійною. Розрахунки виконувались для найбільш несприятливих умов входу екіпажу на бічний напрямок стрілочного переводу:

- зазор між колесом, що набігає, і гостряком є максимально можливим;
- ширина колісної пари розраховувалась із найбільшими допусками по насадці коліс та зносу гребенів (рис. 3);
- протишерстний напрямок руху;
- максимально допустима швидкість руху.

Величина зазору для діапазону ширини колії 1520...1546 мм між колесом, що набігає, та гостряком перевідної кривої при вході на боковий напрямок розраховувались за схемою, наведеною на рис. 3, та наведені в табл. 1.

Розглянемо результати розрахунку. На рис. 4 наведено динамічну картину зміни рамної сили H_p по довжині стрілочного переводу для граничних значень ширини колії обраного діапазону – 1520 та 1546 мм, відповідно. Характер взаємодії при зустрічі колеса, що набігає, з гостряком імпульсний. Характер взаємодії для ши-

рини колії 1520 та 1546 мм дещо відрізняється на довжині 2...3 м після зустрічі колеса, що набігає, з гострьком, а в подальшому він практично однаковий. Зауважимо, що скачок рамної сили на абсцисі 20 м, в межах перевідної кривої, обумовлений наявністю стику по обох нитках. Параметри стику введено до моделі згідно результатів досліджень [11].

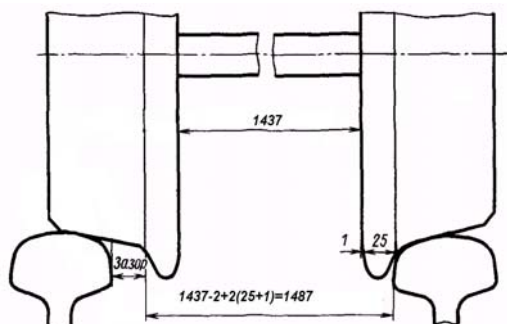


Рис. 3. Схема для визначення ширини колісної пари

Таблиця 1

Величина зазору при вході на боковий напрямок

№ варіанту	Ширина колії в межах бокового напрямку, мм	Зазор при вході на боковий напрямок, мм
1	1520	33
2	1530	43
3	1540	53
4	1546	59

На рис. 5 наведені кількісні результати розрахунку H_p в межах гострька та перевідної кривої для всього обраного діапазону ширини колії.

Як бачимо, при зростанні ширини колії з 1520 до 1546 мм в межах гострька H_p зростає на 20,5 кН. При такому ж зростанні ширини колії в межах перевідної кривої H_p зростає на 3,17 кН. З отриманих результатів бачимо значний вплив ширини колії в межах гострька та незначний в межах перевідної кривої на зростання H_p . Отримана різниця пояснюється різним характером впливу ширини колії на взаємодію екіпажу та колії в межах вістря гострька. Якщо при вході на боковий напрям ширини колії прямо впливає на накопичення кінетичної енергії екіпажем, то в межах перевідної кривої колеса, що набігають, перших по ходу візків вже притиснуті до направляючої рейки бокового напрямку, а відповідно ширини колії неістотно впливає на накопичення кінетичної енергії.

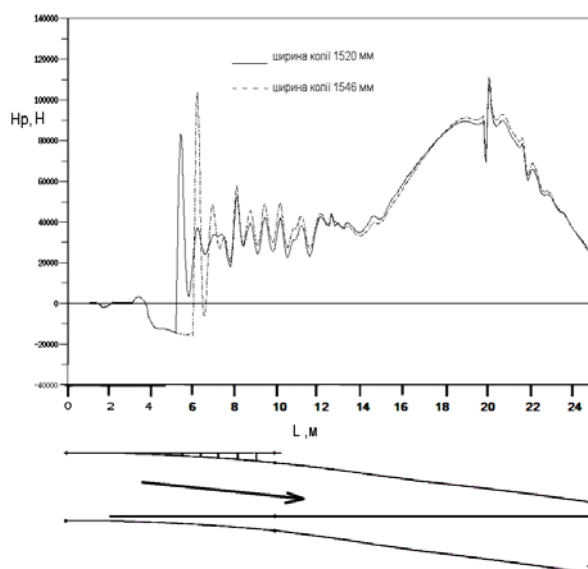


Рис. 4. Рамні сили при різних ширині колії

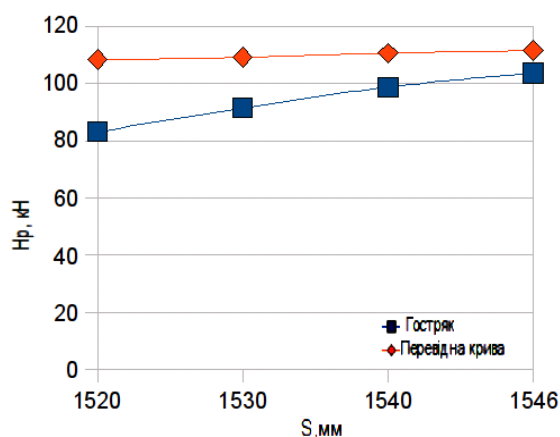


Рис. 5. Максимальні рамні по боковому напрямку

Для прямих та кривих ділянок колії крім відступів за шириною колії нормується крутизна відводу ширини колії. На стрілочних переводах такий норматив відсутній, що обумовлено конструктивними особливостями переводів. Проведемо дослідження впливу ухилу відводу ширини колії в межах бокового напрямку. Відвід вводим до моделі у вигляді функції нерівності у плані:

$$y(x) = \frac{A}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-x^2}, \quad (4)$$

де A – амплітуда нерівності;

Розглянемо результати розрахунку. На рис. 6 наведено динамічну картину зміни рамної сили H_p при існуванні нерівності у плані в межах перевідної кривої для граничних значень діапазону ухилу відводу ширини колії i (1 та 5 мм/м) для прямих ділянок колії та кривих, затвердженого відповідним нормативним документом [8].

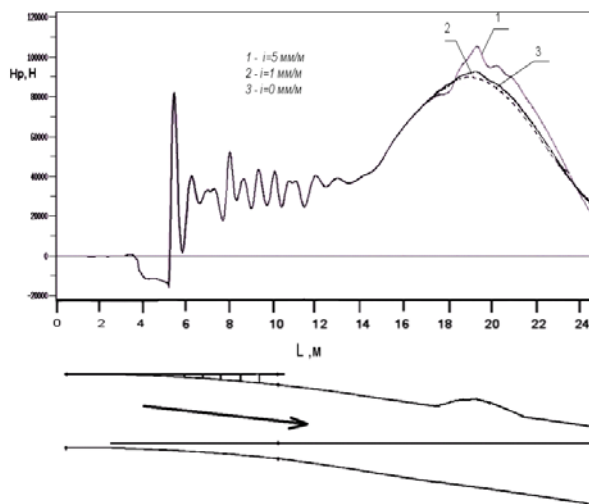


Рис. 6. Рамні сили при різному ухилі відводу ширини колії

З результатів наведених на рис. 6 бачимо, що на початку нерівності H_p дещо зменшується, рамна сила досягає максимуму в місці з найбільшою амплітудою нерівності.

На рис. 7 наведені кількісні результати розрахунку H_p для всього обраного діапазону ухилу відводу ширини колії.

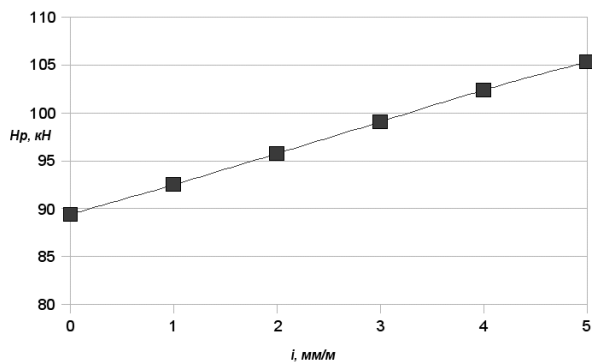


Рис. 7. Рамна сила при різному ухилі відводу ширини колії

Кількісні результати (рис. 7) свідчать про зростання рамної сили на 16 кН при $i = 5\%$ в порівнянні з колією без нерівності, обумовленою відводом ширини колії.

Отже, результати проведених досліджень свідчать, що ширина колії в межах бокового напрямку має значний вплив на силову взаємодію в межах гостряка, але неістотний вплив на силову взаємодію рухомого складу та колії в межах перевідної кривої. Ухил відводу ширини колії має більший вплив, ніж ширина колії в межах перевідної кривої. Нагадаємо, що в модель вводилася геометрія бокового напрямку стрілочного перевалу згідно паспортних даних, а нерівність – у вигляді аналітичної залежності. Тому отримані результати носять попередній характер.

На нашу думку, необхідно провести натурні

дослідження форм нерівностей у плані по ухилу відводу ширини колії з метою визначення рівня бокових сил, що існує на стрілочних переводах, які експлуатуються.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Крысанов, Л. Г. Влияние ширины колеи и желобов в крестовинном узле на условия прохождения по нему колесных пар [Текст] / Л. Г. Крысанов, Н. Н. Елсаков // Вестник ВНИИЖТ. – М., 1975. – № 3. – С. 34-39.
2. Шахунянц, Г. М. О допускаемых скоростях движения на боковой путь и об основных геометрических параметрах для проектирования стрелочных переводов [Текст] / Г. М. Шахунянц // Тр. МИИТа. – М., 1958. – № 80/1. – С. 56-67.
3. Яковлев, В. Ф. Влияние сужения рельсовой колеи на состояние железнодорожного пути и плавность движения поездов [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Тр. ЛИИЖТа. – Л., 1963. – № 191. – С. 7-28.
4. Яковлев, В. Ф. Напряженное состояние и деформированное состояние стрелочного перевода марки 1/11 при ширине колеи 1530 мм [Текст] / В. Ф. Яковлев, С. В. Амелин // Тр. ЛИИЖТа. – Л., 1963. – № 191. – С. 30-63.
5. Разработать нормативы скоростей движения по стрелочным переводам с учетом их фактического состояния [Текст] : отчет о НИР / ДИИТ. КГНДЛ. – Д., 1988. – 147 с.
6. Каленик, К. Л. Особливості математичної моделі взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного перевалу [Текст] / К. Л. Каленик, В. В. Рибкін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 204-207.
7. Ромен, Ю. С. Влияние зазора в колее на величину боковых сил при взаимодействии пути и подвижного состава [Текст] / Ю. С. Ромен, М. Ф. Вериги, В. О. Певзнер // Сб. науч. тр. ЦНИИМПС. – М., 1969. – № 385. – С. 95-106.
8. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0138 [Текст] / Е. І. Даниленко та ін. – К.: Транспорт України., 2006. – 336 с.
9. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериги. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
10. Разработка рекомендаций по допустимым скоростям по боковому направлению стрелочных переводов, взаимное положение которых не соответствует техническим требованиям [Текст]: звіт про НДР / ДІПТ. КГНДЛ. – Д., 2008. – 51 с.
11. Трофимов, А. Н. Исследование динамической неровности в рельсовом стыке [Текст] / А. Н. Трофимов // Тр. ДИИТа. Взаимодействие пути и подвижного состава. – Д., 1989. – С. 27-33.

Надійшла до редколегії 01.12.2009.

Прийнята до друку 17.12.2009.

В. Е. АРТЁМОВ, И. Г. МУДРАЯ (ДИИТ)

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

В роботі розглянуто питання моделювання вільних та вимушених коливань металевих нерозрізних прогонових будов залізничних мостів із застосуванням методу скінченних елементів.

В работе рассмотрены вопросы моделирования свободных и вынужденных колебаний металлических неразрезных пролетных строений железнодорожных мостов с применением метода конечных элементов.

The issues of simulation of free and forced vibrations of railway metallic continuous spans with the application of finite-element method are considered in the article.

Вопросы моделирования совместных колебаний упругих механических систем под движущейся нагрузкой долгое время привлекают внимание ученых и исследователей из различных областей технических наук. В области прикладного расчета и проектирования мостовых конструкций динамическое влияние внешних сил учитывается путем введения в расчет динамических коэффициентов, получаемых эмпирическим путем в зависимости от длины загрузки равномерно распределенной нагрузкой линии влияния рассматриваемого силового или кинематического фактора. Формулы для определения динамических коэффициентов имеют похожий вид для всех типов мостовых конструкций, а длина загрузки линии влияния входит в них в знаменателе соответствующей дроби, уменьшая тем самым динамическую добавку [1]. Таким образом, полагается, что динамическое влияние вертикальной составляющей подвижной нагрузки убывает с ростом величины пролета сооружения.

Эмпирическая природа динамического коэффициента делает актуальными поиски методов его уточнения. Неоднозначным является также предположение о сплошности железнодорожного подвижного состава, который в нормах [1] регламентирован как эквивалентная равномерно распределенная нагрузка. Следует отметить, что в зарубежных нормах по проектированию мостов [2] при описании железнодорожного подвижного состава учитываются некоторые характерные особенности его конструкции, например, между участками равномерно распределенной нагрузки присутствуют разрывы, моделирующие длину автосцепок.

Неразрезные пролетные строения мостов, особенно больших пролетов, занимают отдельное место среди стержневых строительных конструкций. Являясь статически неопределимыми системами, неразрезные пролетные стро-

ения весьма чувствительны к неравномерному вертикальному перемещению опор, особенно резко это проявляется в мостах с относительно небольшими пролетами. Однако для таких конструкций отмечается плавность эпюр изгибающих моментов в местах переломов на промежуточных опорах, что повышает комфорт езды по сравнению с обычными разрезными балками.

Динамическая работа неразрезных пролетных строений мостов изучена еще не в полной мере. Появление локальных трещин в элементах стальных ферм, возникновение эксцентриситетов мостового полотна, снижение общей грузоподъемности неразрезного пролетного строения с большой долей вероятности можно считать следствием динамических нагрузок.

Данная работа содержит результаты исследования собственных колебаний неразрезных пролетных строений мостов, а также их вынужденных совместных колебаний под нагрузкой от подвижного состава. Рассматриваются неразрезные металлические пролетные строения следующих схем (длины пролетов в м): с ездой понизу – 2×110 ; 2×132 ; 3×110 ; 3×132 ; $110 + 132 + 110$; $132 + 154 + 132$; с ездой поверху – 2×55 ; 2×66 . Во всех пролетных строениях балочная клетка включена в совместную работу с поясами главных ферм.

Построение точной континуальной математической модели неразрезного пролетного строения моста связано с определенными трудностями, в первую очередь, из-за сложной пространственной геометрии сооружения, поэтому прибегнем к его дискретизации. Ограничимся рассмотрением колебаний системы в вертикальной плоскости; т.к. пролетное строение и временная нагрузка являются симметричными системами относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось моста, выделим для расчета одну плоскость главных ферм, прило-

жив к элементам нижнего пояса постоянную равномерно распределенную нагрузку от веса главных балок и мостового полотна интенсивностью q .

В качестве среды для моделирования свободных и вынужденных колебаний пролетных строений используем расчетный программный комплекс «Лира», основанный на методе конечных элементов (МКЭ). Согласно традиционному подходу к расчету стержневой механи-

ческой системы методом конечных элементов, модель конструкции разделяется на стержневые элементы, обладающие жесткостными и массовыми характеристиками исходной конструкции, стыкуемые в узлах [3]. Сосредоточенные массы m_i и заданные нагрузки F_i также приводятся к узловым точкам, а сама система находится в глобальной системе координат O_{xyz} (рис. 1).

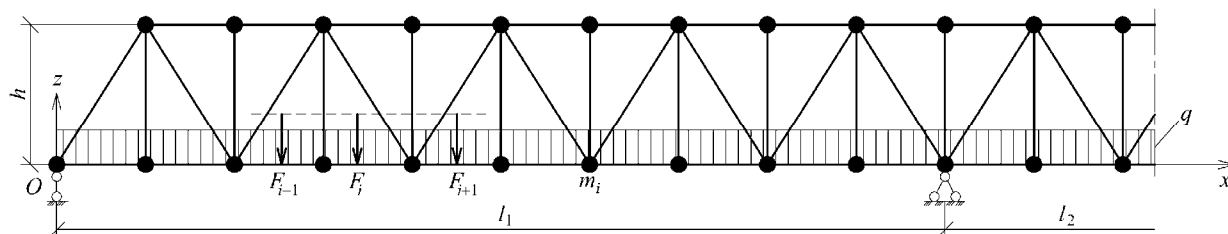


Рис. 1. Расчетная динамическая схема пролетного строения

Гармонический анализ является одной из разновидностей динамического расчета конструкции и проводится с целью определения ее динамических характеристик, в частности, частот свободных колебаний. При этом решение дифференциальных уравнений движения узлов системы отыскивается в виде набора гармонических функций, упрощая тем самым задачу интегрирования системы дифференциальных уравнений для случая, когда ее решение известно или может быть аппроксимировано. В табл. 1, 2 приведены значения линейной частоты свободных изгибных колебаний неразрезных металлических пролетных строений.

Таблица 1

Значения линейной частоты, Гц				
№ формы	Схема пролетного строения			
	2 × 55	2 × 66	2 × 110	2 × 132
1	4,0	2,9	2,2	1,6
2	5,1	3,9	3,0	2,3
3	10,9	8,7	5,0	4,2
4	11,7	9,5	6,2	5,2
5	13,0	10,6	6,9	5,6
6	13,7	11,4	7,0	5,6
7	18,8	15,5	8,0	7,9
8	20,4	16,7	8,1	8,0

Как видно из полученных результатов, спектр частот свободных колебаний для пролетных строений с ездой понизу существенно плотнее аналогичного спектра для пролетных строений с ездой поверху, также заметно влияние длины пролетов. Значения частоты свободных колебаний для пролетных строений 2 × 55,

2 × 66 по сравнению с остальными ближе к спектру частот разрезных пролетных строений мостов аналогичных решетчатых систем.

Таблица 2

Значения линейной частоты, Гц

№ формы	Схема пролетного строения			
	3 × 110	3 × 132	110 + 132 + 110	132 + 154 + 132
1	2,1	1,6	1,9	1,4
2	2,6	1,9	2,5	1,9
3	3,1	2,5	2,9	2,3
4	3,5	2,7	3,0	2,4
5	5,5	4,6	5,2	4,3
6	6,7	5,3	5,9	4,9
7	6,9	5,6	6,8	5,4
8	7,1	5,7	6,9	5,5

Данные табл. 1, 2 в виде диаграмм показаны на рис. 2, 3.

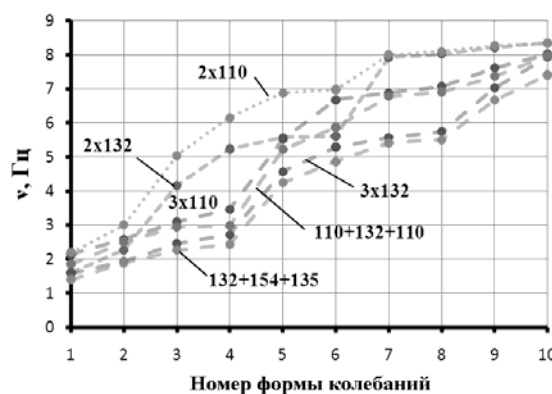


Рис. 2. Частоты свободных колебаний

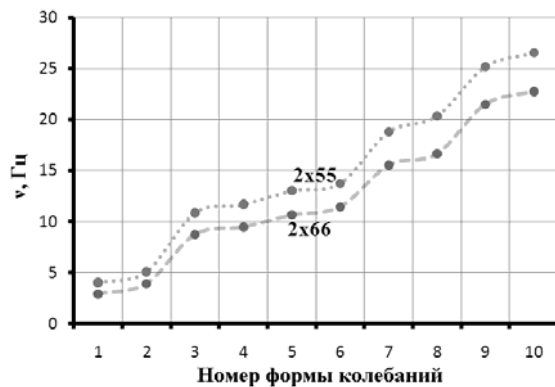


Рис. 3. Частоты свободных колебаний

Основной временной нагрузкой на пролетные строения железнодорожных мостов является грузовой и пассажирский подвижной состав. На железных дорогах Украины эксплуатируются различные типы и модели подвижного состава; сосредоточим внимание на некоторых из них, для которых имеются экспериментальные данные относительно динамических характеристик собственных колебаний при движении по прямолинейному участку пути: локомотивы серий ВЛ8, ДЭ1, ЧС7; грузовой полувагон типа 11-066; пассажирский вагон купейного типа 47к. Основные динамические характеристики подвижного состава приведены в табл. 3.

Таблица 3

Динамические характеристики железнодорожного подвижного состава

Тип состава	F_{st} , Н	A_1	ν_1 , Гц	A_2	ν_2 , Гц
ВЛ8	230000	0,15	2,3	0,05	2,76
ДЭ1	230000	0,15	1,37	0,05	2,06
ЧС7	220700	0,35	1,37	0,11	1,87
Вагон 11-066	220000	0,15	1,5	0,05	2,05
Вагон 47к	158000	0,15	1,5	0,05	2,05

Вертикальное давление подвижного состава на пролетное строение, приходящееся на i -ю колесную пару, определяется формулой

$$F_i = F_{st} (1 + A_1 \sin(2\pi \nu_1 t) + A_2 \sin(2\pi \nu_2 t)), \quad (1)$$

где F_{st} – статическая составляющая вертикального давления на колесную пару подвижного состава; A_1, A_2 – амплитудные значения соответственно первой и второй гармонических составляющих вертикального давления на колесную пару; ν_1, ν_2 – линейные частоты, соответственно, первой и второй гармоник вертикаль-

ных колебаний подвижного состава при движении по прямолинейному участку пути; t – время.

График функции усилия (1) для одиночного локомотива серии ВЛ8 показан на рис. 4.

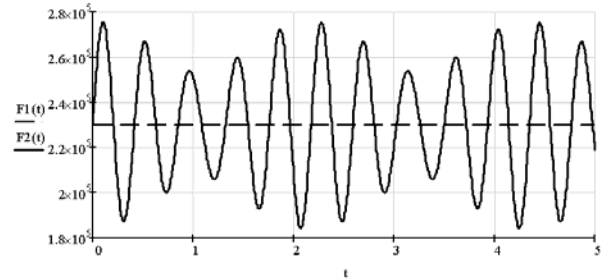


Рис. 4. График колебаний усилия, моделирующего воздействие одиночного локомотива ВЛ8

Используя данные табл. 3, вычислим по (1) расчетные значения вертикальных сил F_i для каждого типа подвижного состава. Выберем следующие характерные точки расположения элементов подвижного состава на пролетных строениях (за точку расположения принята относительная координата Δ_x вертикальной оси z' , проходящей через середину линии, соединяющей центры тележек, рис. 5):

- на пролетных строениях $2 \times 55, 2 \times 66$ Δ_x принимается $(1/4)l_1; (1/2)l_1; (2/3)l_1$;
- на пролетных строениях $2 \times 110, 2 \times 132$, Δ_x принимается $(1/2)l_1; (3/4)l_1$;
- на пролетном строении 3×132 Δ_x принимается $(1/2)l_1; (2/3)l_1; (1/4)l_2; (1/2)l_2$;
- на пролетном строении $110 + 132 + 110$ Δ_x принимается $(3/4)l_1; (1/2)l_2$;
- на пролетном строении $132 + 154 + 132$ Δ_x принимается $(3/4)l_1; (1/4)l_2$.

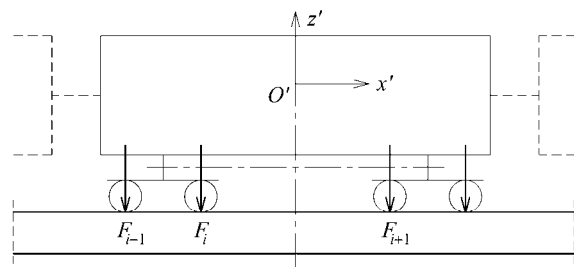


Рис. 5. Модель нагрузки от подвижного состава (конструкция пролетного строения показана условно)

Программный комплекс «Ли́ра» позволяет моделировать процессы вынужденных колебаний конструкции под действием вибрационных нагрузок, приложенных в ее узлах. Так, в ре-

зультате расчета рассматриваемой динамической системы получены величины линейных перемещений, скоростей и ускорений в соответствующих узлах, а также силовые факторы и

напряжения в сечениях стержневых элементов. Колебательные процессы во всех расчетах наблюдались в течение $t = 30$ с, фрагменты этих процессов $t = 0 \dots 1$ с показаны на рис. 6, 7.

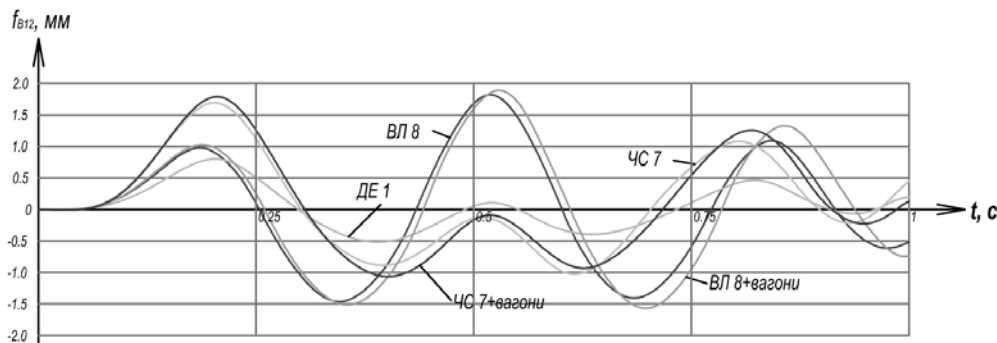


Рис. 6. Вертикальные колебания узла В12 пролетного строения 2×55

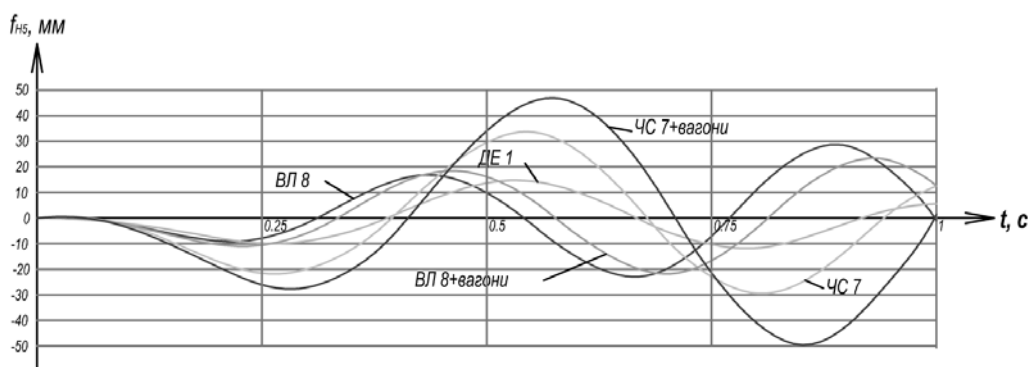


Рис. 7. Вертикальные колебания узла Н5 пролетного строения 2×110

На рис. 8 представлена диаграмма относительных перемещений для узлов пролетных строений, в которых наблюдались максимальные абсолютные перемещения. За единицу принято относительное перемещение узла неразрезного пролетного строения 2×110 .



Рис. 8. Относительные перемещения узлов

Как видно из проведенного исследования, метод конечных элементов является эффективным инструментом для определения динамиче-

ских характеристик стержневых строительных конструкций, в частности, неразрезных металлических пролетных строений железнодорожных мостов. Гармонический анализ, реализуемый этим методом, позволяет с высокой степенью точности определить частоты колебаний системы по заданным формам, что имеет ключевое значение при динамическом расчете мостовых конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3.14-2006. Споруди транспорту. Мости та труби: правила проектування [Текст] / Мін-во буд-ва, арх-ри та житл.-ком. госп-ва. – К., 2006. – 359 с.
2. European Standard. Eurocode 1: Actions on Structures. – Part 2: Traffic Loads on Bridges [Text] / European Committee for Standardization. – B-1050, Brussels. – 2002. – 162 p.
3. Розин, Л. А. Стержневые системы как системы конечных элементов [Текст] / Л. А. Розин. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 237 с.

Поступила в редколлегию 08.12.2009.

Принята к печати 10.12.2009.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕСКОНЕЧНО ДЛИННЫХ УПРУГИХ МАССИВОВ РАЗЛИЧНОЙ ШИРИНЫ И ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ НА ЖЕСТКОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ИХ ПЛОСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

У статті наведено результати рішення ряду задач плоского деформування пружних нескінченно довгих масивів різної ширини і обмеженої товщини. Розглядаються різні випадки умов на контакті масиву з основою. В рішеннях використані запропоновані автором раніше залежності між напруженим і деформованим станами, відмінні від узагальненого закону Гука.

В статье приведены результаты решения ряда задач плоского деформирования упругих бесконечно длинных массивов различной ширины и ограниченной толщины. Рассматриваются различные случаи условий на контакте массива с основанием. В решениях использованы предложенные автором ранее зависимости между напряженным и деформованным состояниями, отличные от обобщенного закона Гука.

The article presents the results of solving several problems of a flat deformation of elastic infinitely long massifs of different width and limited thickness. Various cases of conditions at the massif/base contact. The relationships between stressed and strained states previously suggested by the author, which differ from the generalized Hooke's law, are used in the solutions.

Настоящая работа является продолжением цикла работ автора по определению напряженно-деформированного состояния упругих массивов с раздельным определением деформаций от чистого формоизменения (чистого сдвига, чистой деформации), который протекает без изменения объема среды, и от изменения ее объема (плотности). Оба вида деформаций независимы друг от друга и подчиняются различным закономерностям [1 – 3]. Напряженное состояние в любой точке упругого массива характеризует потенциальная гармоническая функция давления, представляющая собой среднее давление в точке, которое равно одной трети первого инварианта напряженного состояния:

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = \frac{1}{3}J_1.$$

Здесь приводятся результаты решений некоторых задач для массивов ограниченной толщины с различной шириной, опирающихся на жесткое основание, при их плоском деформировании.

Задача № 1. Упругий массив прямоугольного поперечного сечения бесконечной длины на жестком основании. На верхней площадке действует по нормали к ней сила P (Н/м), сосредоточенная по бесконечной линии вдоль массива (рис. 1). Граничные условия на контакте массива с основанием допускают только горизонтальные смещения от чистого сдвига. Ис-

ходя из этого, для функции давления σ граничные условия будут следующими:

- 1) при $z=0$ $\frac{\partial \sigma}{\partial z} = 0$ ($W^c = 0$);
- 2) при $z=h$ и $x \neq 0$ $\sigma = 0$;
- 3) при $z=h$ и $x = 0$ $\sigma = \infty$;
- 4) функция должна быть четной относительно координаты x , т.е. $\sigma(x, z) = \sigma(-x, z)$.

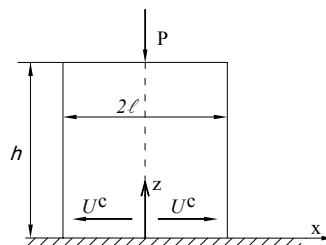


Рис. 1

Это смешанная задача Дирихле-Неймана, решение которой если имеется, то единственное. Решение, удовлетворяющее поставленным условиям, получено [4] в виде:

$$\sigma = \frac{P}{2l} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2l} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2l}}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)h}{2l}}. \quad (1)$$

Для проверки условия, является ли данная функция потенциальной, запишем ее вторые частные производные:

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} = \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \right]^2 \times$$

$$\times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h};$$

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} = -\frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \right]^2 \times$$

$$\times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}.$$

Очевидно, что сумма вторых частных производных равна нулю, поэтому данная функция является гармонической, потенциальной.

Определение компонент перемещений, вызванных чисто сдвиговыми и объемными деформациями, выполняется по условию [3]:

- перемещения от чистого сдвига:

$$U^c = -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \kappa^c \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \times$$

$$\times \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}; \quad (2)$$

$$W^c = -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\kappa^c \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \times$$

$$\times \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}; \quad (3)$$

- вертикальные перемещения от изменения плотности упругой среды:

$$W^0 = \kappa^0 \cdot \int_z^0 \sigma \cdot dz = -\kappa^0 \frac{P}{2\ell} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\ell}{\pi(2n-1)} \times$$

$$\times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}, \quad (4)$$

где κ^c и κ^0 – физические константы среды, соответственно, – модуль чистого формоизменения и модуль объемной деформации.

Для случая нагрузки равномерной интенсивности p (Н/м²), распределенной на беско-

нечной полосе постоянной ширины $2a$, задача определения функции давления решается путем интегрирования (1) в соответствии с рис. 2:

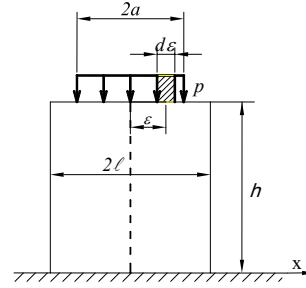


Рис. 2

$$\sigma = \frac{p}{2\ell} \int_{-a}^a \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1)(x-\varepsilon)}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h} d\varepsilon.$$

После интегрирования и элементарных алгебраических преобразований имеем:

$$\sigma = \frac{p}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell}}{\frac{\pi(2n-1)}{2\ell}} \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times$$

$$\times \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}. \quad (5)$$

По известному значению функции давления определяются перемещения точек массива, вызванные чистым формоизменением:

$$U^c = -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \kappa^c \frac{p}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell} \times$$

$$\times \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}; \quad (6)$$

$$W^c = -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\kappa^c \frac{p}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell} \times$$

$$\times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot h}, \quad (7)$$

а также вертикальные перемещения от изменения объема среды:

$$\begin{aligned}
W^0 &= \kappa^0 \cdot \int_z^0 \sigma \cdot dz = \kappa^0 \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell}}{\frac{\pi(2n-1)}{2\ell}} \times \\
&\times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} dz; \\
W^0 &= -\frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell}}{\left[\frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \right]^2} \times \\
&\times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}. \quad (8)
\end{aligned}$$

Задача № 2. Упругий массив и его нагружение аналогичны задаче № 1, но основание допускает только вертикальные смещения от чистой деформации (рис. 3), т.е. функция давления должна удовлетворять условиям:

- 1) при $z=0$ $\frac{\partial \sigma}{\partial z} = 0$ ($U^c = 0$);
- 2) при $z=h$ и $x=0$ $\sigma = \infty$;
- 3) при $z=h$ и $x \neq 0$ $\sigma = 0$;
- 4) $\sigma(x, z) = \sigma(-x, z)$.

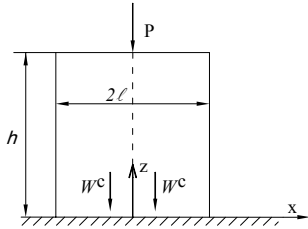


Рис. 3

Функция давления, удовлетворяющая поставленным граничным условиям, получена в виде [4]:

$$\sigma = \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}. \quad (9)$$

Проверим, является ли она гармонической. Для этого запишем ее вторые частные производные:

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} = -\frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \right]^2 \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times$$

$$\times \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}};$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} &= \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \right]^2 \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times \\
&\times \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}.
\end{aligned}$$

Очевидно, что сумма этих производных равна нулю, поэтому сама функция (9) является гармонической и, следовательно, потенциальной.

Компоненты перемещений среды, вызванные чистым формоизменением, в соответствии с [3] будут:

$$\begin{aligned}
U^c &= -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \kappa^c \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \times \\
&\times \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}; \quad (10)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W^c &= -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \times \\
&\times \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}. \quad (11)
\end{aligned}$$

Перемещения, вызванные изменением плотности среды, определяются интегрированием (9):

$$W^0 = \frac{\kappa^0 P}{2\ell} \int \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)h}{2\ell}} dz + C;$$

$$\begin{aligned}
W^0 &= \frac{\kappa^0 \cdot P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\ell}{\pi(2n-1)} \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times \\
&\times \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)h}{2\ell}} dz + C.
\end{aligned}$$

Произвольная интегрирования C определяется из граничных условий: при $z = 0$ $W^0 = 0$. Тогда окончательно имеем:

$$W^0 = -\kappa^0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\ell}{\pi(2n-1)} \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times \left[\frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell} - 1}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \right]. \quad (12)$$

В том случае, когда на поверхности массива будет действовать равномерно распределенная нагрузка p (Н/м²), функция давления определяется интегрированием (9) в соответствии со схемой на рис. 2:

$$\sigma = \frac{p}{2\ell} \int_{-a}^a \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1)(x-\varepsilon)}{2\ell} \times \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} d\varepsilon = \frac{p}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\ell}{\pi(2n-1)} \times \sin \frac{\pi(2n-1) \cdot (x-\varepsilon)}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \Big|_{-a}^a.$$

После подстановки пределов и алгебраических преобразований функция давления будет:

$$\sigma = \frac{p}{\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi(2n-1) \cdot a}{2\ell}}{\frac{\pi(2n-1)}{2\ell}} \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}. \quad (13)$$

По известной функции давления (13) определяются перемещения точек массива, вызванные чистым формоизменением:

$$U^c = -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \kappa^c \frac{p}{\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi(2n-1) a}{2\ell} \times$$

$$\times \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}; \quad (14)$$

$$W^c = -\kappa^c \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\kappa^c \frac{p}{\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell} \times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}. \quad (15)$$

Перемещения точек упругой среды от изменения ее плотности после соответствующего интегрирования будут:

$$W^0 = -\kappa^0 \frac{p}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi(2n-1)a}{2\ell}}{\left[\frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \right]^2} \times \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\left[\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell} - 1 \right]}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}}. \quad (16)$$

Задача № 3. В задачах № 1 и 2 рассматривалось напряженно-деформированное состояние упругого массива прямоугольного поперечного сечения бесконечной длины для двух предельных случаев по граничным условиям на контакте его с основанием: контакт допускает только горизонтальные смещения от чистого деформирования (задача № 1) либо только вертикальные (задача № 2). Если же контакт с основанием допускает и горизонтальные и вертикальные смещения от чистого деформирования упругой среды, то задача может быть решена путем комбинирования двух решений. Для этого внешняя нагрузка делится на две части пропорционально оценочной величине упомянутых смещений:

$$P = P^r + P^b = m^r P + m^b P = P(m^r + m^b),$$

где m^r и m^b – коэффициенты, пропорциональные частям нагрузки, формирующим, соответственно, горизонтальные и вертикальные сдвиговые смещения на контакте. Их сумма равна единице.

Таким образом, общее решение будет состоять из суммы двух решений, пропорциональных решению задачи № 1 с коэффициентом

пропорциональности m^Γ и решению задачи № 2 с коэффициентом m^B .

Для нагрузки, сосредоточенной вдоль бесконечной линии, будем иметь: функция давления в любой точке поперечного сечения массива:

$$\sigma = \left[P \frac{m^\Gamma}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot z}{2\ell}}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} + P \frac{m^B}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \right],$$

а после преобразований

$$\sigma = \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \left[m^\Gamma \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} + m^B \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell}}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \right]. \quad (17)$$

Перемещения, вызванные чистым формоизменением:

$$U^c = \kappa^c \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2\ell} \times \left[m^\Gamma \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} + m^B \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \right]; \quad (18)$$

$$W^c = -\kappa^c \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times \left[m^\Gamma \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} + m^B \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \right]; \quad (19)$$

перемещения, вызванные изменением объема среды:

$$W^0 = -\kappa^0 \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\ell}{\pi(2n-1)} \cdot \cos \frac{\pi(2n-1) \cdot x}{2\ell} \times$$

$$\times \left[m^\Gamma \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell}} + m^B \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(2n-1)}{2\ell} \cdot z}{\operatorname{sh} \frac{\pi(2n-1) \cdot h}{2\ell}} \right]. \quad (20)$$

В том случае, когда на поверхности массива будет действовать равномерно распределенная нагрузка интенсивностью p (Н/м²) по бесконечной полосе шириной $2a$, решение задачи будет представлять комбинацию решений (5)–(8) и (13)–(16).

Задача № 4. Бесконечно простирающийся упругий массив ограниченной толщины на жестком основании (рис. 4). На его поверхности приложена по нормали сила P (Н/м), равномерно распределенная вдоль бесконечной линии, т.е. имеем задачу плоского деформирования. Условия контакта с жестким основанием допускают только горизонтальные смещения от чистого деформирования.

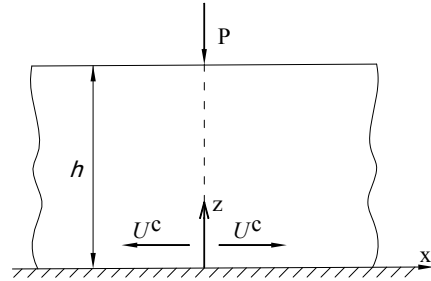


Рис. 4

Граничными условиями для функции давления в этом случае будут:

- 1) при $z=0$ $\frac{\partial \sigma}{\partial z} = 0$ ($W^c = 0$);
- 2) при $z=h$ и $x \neq 0$ $\sigma = 0$;
- 3) при $z=h$ и $x=0$ $\sigma = \infty$;
- 4) функция должна быть регулярной на бесконечности и четной относительно координаты x , т.е. $\lim_{x \rightarrow \pm \infty} \sigma = 0$ и $\sigma(x, z) = \sigma(-x, z)$.

Для определения такой функции давления воспользуемся следующим приемом. В решении (1) для ограниченной ширины упругого массива будем увеличивать ее, устремив к бесконечности ($\ell \rightarrow \infty$). В пределе мы должны получить искомую функцию. При этом представим функцию (1) в следующем виде:

$$\sigma_{\text{огр}} = \frac{P}{2\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\operatorname{ch} z t_n}{\operatorname{ch} h t_n} \cdot \cos x t_n \cdot \Delta t_n,$$

$$\text{где } t_n = \frac{\pi(2n-1)}{2\ell}.$$

При неограниченном возрастании ширины массива $\ell \rightarrow \infty$ можно записать:

$$\sigma_{\text{неогр}} = \lim_{\ell \rightarrow \infty} \sigma_{\text{огр}} = \frac{P}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\text{ch } z \cdot t}{\text{ch } h \cdot t} \cdot \cos x \cdot t dt.$$

Согласно [5] несобственный интеграл такого вида равен:

$$\int_0^{\infty} \frac{\text{ch } \beta x}{\text{ch } \gamma x} \cos \alpha x dx = \frac{\pi}{\gamma} \frac{\cos \frac{\pi \beta}{2\gamma} \cdot \text{ch } \frac{\pi \alpha}{2\gamma}}{\text{ch } \frac{\pi \alpha}{\gamma} + \cos \frac{\pi \beta}{\gamma}}.$$

Выполнив соответствующую подстановку, будем иметь:

$$\sigma = \frac{P}{h} \cdot \frac{\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h}}{\text{ch } \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}}. \quad (21)$$

После алгебраических преобразований приводим (21) к более удобному виду:

$$\sigma = \frac{P}{2h} \cdot \frac{\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h}}{\text{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}}, \quad (22)$$

или

$$\sigma = \frac{P}{2h} \cdot \frac{\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h}}{\text{ch}^2 \frac{\pi x}{2h} - \sin^2 \frac{\pi z}{2h}}. \quad (23)$$

Можно убедиться, что полученная функция давления удовлетворяет всем поставленным граничным условиям и является гармонической, т.е. обладает потенциалом. При этом отметим, что функция (22) была получена также А. Я. Мачеретом [6] при исследовании мгновенных напоров в грунтовой массе после приложения нагрузки.

Если предпосылки к получению функций давления (1) и (22) корректны, а сами функции определены верно, то путем предельного перехода $h \rightarrow \infty$ от функции (21) мы должны получить функцию давления для плоского деформирования полупространства. Выполним такой переход. Для этого, с целью упрощения выкладок, перенесем начало координат в рис. 4 на поверхность, в точку приложения силы, и попытаемся перейти к упомянутому пределу:

$$\sigma_{\text{неогр}} = \lim_{h \rightarrow \infty} \sigma_{\text{огр}} = \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{P}{h} \frac{\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi(h-z)}{2h}}{\text{ch } \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi(h-z)}{h}} = \frac{0}{0}.$$

Для раскрытия неопределенности воспользуемся правилом Лопиталя:

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \frac{P}{h} \cdot \frac{\text{sh } \frac{\pi x}{2h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{2h^2}\right) \cdot \cos \frac{\pi(h-z)}{2h}}{\text{sh } \frac{\pi x}{h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{h^2}\right) - \sin \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \frac{\pi z}{2h^2}} -$$

$$- \frac{\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \cdot \sin \frac{\pi(h-z)}{2h} \cdot \left(\frac{\pi z}{2h^2}\right)}{\text{sh } \frac{\pi x}{h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{h^2}\right) - \sin \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \frac{\pi z}{2h^2}} = \frac{0}{0}.$$

Неопределенность не раскрыта, поэтому воспользуемся второй раз правилом Лопиталя:

- производная числителя по h :

$$\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{2h^2}\right) \cdot \cos \frac{\pi(h-z)}{2h} + \text{sh } \frac{\pi x}{2h^2} \cdot \left(\frac{\pi x}{h^3}\right) \times$$

$$\times \cos \frac{\pi(h-z)}{2h} - \text{sh } \frac{\pi x}{2h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{2h^2}\right) \cdot \sin \frac{\pi(h-z)}{2h} \times$$

$$\times \frac{\pi z}{2h^2} - \text{sh } \frac{\pi x}{2h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{2h^2}\right) \cdot \sin \frac{\pi(h-z)}{2h} \cdot \frac{\pi z}{2h^2} - \text{ch } \frac{\pi x}{2h} \times$$

$$\times \cos \frac{\pi(h-z)}{2h} \left(\frac{\pi z}{2h^2}\right)^2 - \text{ch } \frac{\pi x}{2h} \sin \frac{\pi(h-z)}{2h} \left(-\frac{\pi z}{h^3}\right) =$$

$$= \frac{\pi}{h^3} z;$$

- производная знаменателя по h :

$$\text{ch } \frac{\pi x}{2h} \left(\frac{\pi x}{h^2}\right)^2 + \text{ch } \frac{\pi x}{2h} \left(\frac{2\pi x}{h^3}\right) - \cos \frac{\pi(h-z)}{2h} \left(\frac{\pi z}{h^2}\right)^2 -$$

$$- \sin \frac{\pi(h-z)}{h} \left(-\frac{2\pi z}{h^3}\right) = \frac{\pi^2}{h^4} (x^2 + z^2).$$

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \frac{P}{h} \frac{\frac{\pi}{h^3} z}{\frac{\pi^2}{h^4} (x^2 + z^2)} = \frac{P}{\pi} \frac{z}{(x^2 + z^2)}. \quad (24)$$

Таким образом, мы получили функцию давления при плоском деформировании полупространства погонно-сосредоточенной силой [7] и

подтвердили взаимосвязь функций давления (1), (22) и (24).

Для определения компонентов напряженного состояния в рассматриваемой задаче № 4 воспользуемся условием [8]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma - (h-z) \frac{\partial \sigma}{\partial z}; \\ \sigma_z &= \sigma - (h-z) \frac{\partial \sigma}{\partial z}; \\ \tau_{xz} &= (h-z) \frac{\partial \sigma}{\partial x}.\end{aligned}\quad (25)$$

После определения частных производных функции (22) и подстановки в (25) получаем:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{P}{2h} \left[\frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} - \frac{\pi(h-z)}{2h} \times \right. \\ &\times \left. \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} \cdot \sin \frac{\pi x}{2h} \left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} - \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]}{\left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]^2} \right];\end{aligned}\quad (26)$$

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \frac{P}{2h} \left[\frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} + \frac{\pi(h-z)}{2h} \times \right. \\ &\times \left. \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} \cdot \sin \frac{\pi z}{2h} \left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} - \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]}{\left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]^2} \right];\end{aligned}\quad (27)$$

$$\begin{aligned}\tau_{xz} &= - \frac{P \cdot \pi \cdot (h-z)}{4h^2} \times \\ &\times \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi(h-z)}{2h} \left[\operatorname{ch}^2 \frac{\pi x}{2h} + \sin^2 \frac{\pi z}{2h} \right]^2}{\left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]^2}.\end{aligned}\quad (28)$$

Для контроля соблюдения условия общего равновесия в задаче выполним следующую проверку: просуммируем вертикальное давле-

ние от массива на основание, которое должно быть равным внешней нагрузке P .

Приняв в (27) $z = 0$, имеем:

$$\sigma_z = \frac{P}{2h} \cdot \frac{1}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h}}.$$

Проинтегрируем σ_z по контакту упругого массива с основанием:

$$\begin{aligned}2 \int_0^\infty \frac{P}{2h} \cdot \frac{dx}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h}} &= \frac{2P}{2h} \cdot \frac{2h}{\pi} \int_0^\infty \frac{d\left(\frac{\pi x}{2h}\right)}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h}} = \\ &= \frac{2P}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \left(\operatorname{sh} \frac{\pi x}{2h} \right) \Big|_0^\infty = P.\end{aligned}$$

Следовательно, условие общего равновесия в задаче выполняется.

Компоненты смещений точек упругого массива от чистого формоизменения получаем согласно [3] в виде:

$$\begin{aligned}U^c &= -\kappa^c \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \\ &= \kappa^c \frac{P\pi}{4h^2} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi x}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h} \left[\operatorname{ch}^2 \frac{\pi x}{2h} + \sin^2 \frac{\pi z}{2h} \right]}{\left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]^2};\end{aligned}\quad (29)$$

$$\begin{aligned}W^c &= -\kappa^c \frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\kappa^c \frac{P\pi}{4h^2} \times \\ &\times \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} \cdot \sin \frac{\pi z}{2h} \left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} - \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]}{\left[\operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h} \right]^2}.\end{aligned}\quad (30)$$

Смещения точек упругого массива от изменения объема будут:

$$\begin{aligned}W^0 &= \kappa^0 \int_z^0 \sigma \cdot dz = \kappa^0 \frac{P}{h} \int_z^0 \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} \cos \frac{\pi z}{2h}}{\operatorname{ch}^2 \frac{\pi x}{2h} - \sin^2 \frac{\pi z}{2h}} = \\ &= -\kappa^0 \frac{P}{\pi} \ln \left| \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} + \sin \frac{\pi z}{2h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} - \sin \frac{\pi z}{2h}} \right| \Big|_z^0;\end{aligned}$$

$$W^0 = \kappa^0 \frac{P}{\pi} \ln \left| \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} + \sin \frac{\pi z}{2h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} - \sin \frac{\pi z}{2h}} \right|. \quad (31)$$

В том случае, когда на поверхности упругого массива будет действовать равномерно распределенная нагрузка интенсивностью p (Н/м²) по бесконечной полосе шириной $2a$, функция давления может быть определена путем интегрирования (22) соответственно рис. 5:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{p}{2h} \int_{-a}^a \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(x+\varepsilon)}{2h} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi(x+\varepsilon)}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} d\varepsilon = \\ &= \frac{p}{2h} \frac{2h}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi z}{2h} \int_{-a}^a \frac{d \left[\operatorname{sh} \frac{\pi(x+\varepsilon)}{2h} \right]}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi(x+\varepsilon)}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} = \\ &= \frac{p}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x+\varepsilon)}{2h}}{\cos \frac{\pi z}{2h}} \Big|_{-a}^a; \\ \sigma &= \frac{p}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x+a)}{2h}}{\cos \frac{\pi z}{2h}} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x-a)}{2h}}{\cos \frac{\pi z}{2h}} \right]. \quad (32) \end{aligned}$$

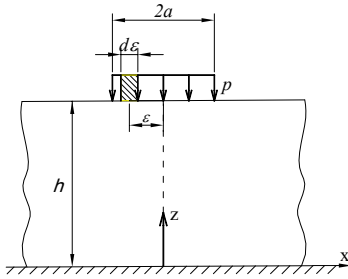


Рис. 5

Очевидно, что при бесконечном расширении загруженной полосы ($2a \rightarrow \infty$) давление в массиве будет стремиться к своему пределу, равному p (Н/м²), что и следует из (32).

Для определения компонентов напряжений и деформаций запишем частные производные функции давления (32):

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \frac{p}{2h} \left\{ \cos \frac{\pi z}{2h} \left[\frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(x+a)}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi(x+a)}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} - \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi(x-a)}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi(x-a)}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} \right] \right\}; \quad (33)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = \frac{p}{2h} \left\{ \cos \frac{\pi z}{2h} \left[\frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x+a)}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi(x+a)}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} - \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x-a)}{2h}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi(x-a)}{2h} + \cos^2 \frac{\pi z}{2h}} \right] \right\}. \quad (34)$$

Обозначив содержимое внешних скобок в (32, 33, 34) соответственно A_1 , B_1 , C_1 , компоненты напряженного состояния упругого массива будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{p}{\pi} A_1 - (h-z) \frac{p}{2h} \cdot B_1; \\ \sigma_y &= \frac{p}{\pi} A_1 + (h-z) \frac{p}{2h} \cdot B_1; \\ \tau_{xy} &= (h-z) \cdot \frac{p}{2h} \cdot C_1. \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Компоненты смещений точек упругого массива от чистого формоизменения будут:

$$U^c = -\kappa^c \cdot \frac{p}{2h} \cdot B_1; \quad W^c = -\kappa^c \frac{p}{2h} \cdot C_1. \quad (36)$$

Вертикальные перемещения точек упругого массива от изменения его плотности могут быть определены путем интегрирования функции давления (32):

$$W^0 = \kappa^0 \frac{p}{\pi} \int \left[\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x+a)}{2h}}{\cos \frac{\pi z}{2h}} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x-a)}{2h}}{\cos \frac{\pi z}{2h}} \right] dz$$

$$- \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi(x-a)}{2h}}{\cos \frac{\pi z}{2h}} \Bigg] dz + C, \quad (37)$$

где C – произвольная интегрирования, которая определяется из граничных условий: $z = 0$, $W^0 = 0$.

Задача № 5. Эта задача отличается от задачи № 4 тем, что условия контакта упругого бесконечно простирающегося слоя ограниченной толщины с основанием допускают только вертикальные смещения от чистого формоизменения. При этом граничные условия для функции давления будут следующими:

1) при $z = 0$, $\frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0$ ($U^c = 0$);

2) при $z = h$ и $x \neq 0$ $\sigma = 0$;

3) при $z = h$ и $x = 0$ $\sigma = \infty$;

4) функция должна быть четной относительно координаты x и регулярной на бесконечности.

Функция давления, удовлетворяющая этим условиям, может быть получена из решения (9) с ограниченной шириной массива, в котором выполним предельный переход $\ell \rightarrow \infty$. Предварительно запишем его в виде:

$$\sigma_{\text{огр}} = \frac{P}{2\ell} \cdot \frac{2\ell}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\operatorname{ch} t \cdot t_n}{\operatorname{ch} h \cdot t_n} \cdot \cos x t_n \cdot \Delta t_n,$$

где $t_n = \frac{\pi(2n-1)}{2\ell}$.

При неограниченном возрастании ширины массива ℓ суммирование заменяем интегрированием:

$$\sigma = \lim_{\ell \rightarrow \infty} \sigma_{\text{огр}} = \frac{P}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\operatorname{ch} z \cdot t}{\operatorname{ch} h \cdot t} \cdot \cos x \cdot t dt.$$

Согласно [5] несобственный интеграл такого вида сходится к своему пределу:

$$\int_0^{\infty} \cos \alpha x \cdot \frac{\operatorname{sh} \beta \cdot x}{\operatorname{sh} \gamma \cdot x} dx = \frac{\pi}{2\gamma} \cdot \frac{\sin \frac{\pi \beta}{\gamma}}{\operatorname{ch} \frac{\pi \alpha}{\gamma} + \cos \frac{\pi \beta}{\gamma}}.$$

Выполнив соответствующую подстановку, получим функцию давления:

$$\sigma = \frac{P}{2h} \cdot \frac{\sin \frac{\pi z}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}}. \quad (38)$$

Для дальнейшего анализа решения и определения компонентов напряжений и деформаций запишем частные производные полученной функции давления (38):

- первые частные производные:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = - \frac{P \cdot \pi^2}{2h^2} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi x}{h} \sin \frac{\pi z}{h}}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h} \right)^2};$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = \frac{P \cdot \pi^2}{2h^2} \cdot \frac{1 + \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} \sin \frac{\pi z}{h}}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h} \right)^2},$$

- вторые частные производные:

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} = - \frac{P \cdot \pi^2}{2h^3} \cdot \frac{\sin \frac{\pi z}{h} \left(1 - \operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{h} + \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} \cdot \cos \frac{\pi z}{h} \right)}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h} \right)^3};$$

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} = \frac{P \cdot \pi^2}{2h^3} \cdot \frac{\sin \frac{\pi z}{h} \left(1 - \operatorname{sh}^2 \frac{\pi x}{h} + \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} \cdot \cos \frac{\pi z}{h} \right)}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h} \right)^3}.$$

Можно убедиться, что функция (38) удовлетворяет поставленным граничным условиям и является гармонической (сумма ее вторых частных производных равна нулю), следовательно она обладает потенциалом.

Подтверждением взаимной связи решений задач теории упругости является возможность предельного перехода от решения одной задачи к решению другой задачи. В связи с этим попробуем перейти от функции давления (38) в данной задаче к функции давления при плоском деформировании полупространства равномерно распределенной вдоль бесконечной линии нагрузкой P (Н/м). С целью удобства перенесем начало координат вертикально вверх на поверхность упругого бесконечно простирающегося слоя. В новой координатной системе функция (38) будет представлена в виде:

$$\sigma = \frac{P}{2h} \cdot \frac{\sin \frac{\pi(h-z)}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi(h-z)}{h}},$$

где координата z расположена в точке приложения нагрузки и направлена вниз, а область ее изменения будет: $h \geq z \geq 0$.

Для перехода к функции давления в полупространстве будем неограниченно увеличивать толщину упругого слоя $h \rightarrow \infty$:

$$\sigma = \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{P}{2h} \cdot \frac{\sin \frac{\pi(h-z)}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi(h-z)}{h}} = \frac{0}{0}.$$

Раскрытие неопределенности выполним по правилу Лопиталья. Для этого записываем первые производные по h в числителе и знаменателе:

$$\sigma = \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{P}{2h} \cdot \frac{\cos \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \frac{\pi x}{h^2}}{\operatorname{sh} \frac{\pi x}{h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{h^2}\right) - \sin \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \left(\frac{\pi x}{h^2}\right)} = \frac{0}{0}.$$

Поскольку неопределенность не раскрыта, записываем вторые производные числителя и знаменателя:

- производная числителя:

$$-\sin \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \left(\frac{\pi x}{h^2}\right)^2 - \cos \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \left(\frac{2\pi x}{h^3}\right),$$

- производная знаменателя:

$$\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{h^2}\right)^2 + \operatorname{sh} \frac{\pi x}{h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{h^3}\right) - \cos \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \left(-\frac{\pi x}{h^2}\right)^2 + \sin \frac{\pi(h-z)}{h} \cdot \left(\frac{4\pi x}{h^3}\right),$$

а после перехода к пределу имеем

$$\sigma = \frac{P}{\pi} \cdot \frac{z}{x^2 + z^2}.$$

Таким образом, путем предельного перехода мы получили функцию давления при нагружении поверхности полупространства нагрузкой, равномерно распределенной вдоль бесконечной линии [7], что подтверждает взаимосвязь решений и является их контролем.

Компоненты напряженного состояния в данной задаче, в соответствии с условием (25), определяются зависимостями:

$$\sigma_x = \frac{P}{2h} \cdot \frac{\sin \frac{\pi z}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}} - \frac{P\pi^2(h-z)}{2h^2}; \quad (39)$$

$$\sigma_z = \frac{P}{2h} \cdot \frac{\sin \frac{\pi z}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}} + \frac{P\pi^2(h-z)}{2h^2} \times \frac{\left(1 + \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} \cdot \cos \frac{\pi z}{h}\right)}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}\right)^2}; \quad (40)$$

$$\tau_{xz} = -\frac{P\pi^2(h-z)}{2h^2} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi x}{h} \cdot \sin \frac{\pi z}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}}. \quad (41)$$

Компоненты перемещений точек массива от чистого формоизменения с учетом ранее предложенных зависимостей [3] будут:

$$U^c = \kappa^c \frac{P\pi^2}{2h^2} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi x}{h} \cdot \sin \frac{\pi z}{h}}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}\right)^2};$$

$$W^c = -\kappa^c \frac{P\pi^2}{2h^2} \cdot \frac{\left(1 + \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} \cdot \cos \frac{\pi z}{h}\right)}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}\right)^2}. \quad (42)$$

Вертикальные перемещения точек массива от изменения его плотности определяются путем интегрирования (38):

$$W^0 = \kappa^0 \int \sigma \cdot dz + C = \kappa^0 \frac{P}{2h} \int \frac{\sin \frac{\pi z}{h} dz}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}} = -\kappa^0 \frac{P}{2\pi} \ln \left| \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h} \right| + C.$$

Здесь C – постоянная интегрирования, которая определяется из граничных условий: при $z = 0$ $W^0 = 0$, отсюда

$$C = \kappa^0 \frac{P}{2\pi} \ln \left| \operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + 1 \right|,$$

и тогда

$$W^0 = -\kappa^0 \frac{P}{2\pi} \ln \left| \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}}{\operatorname{ch} \frac{\pi x}{h} + 1} \right|. \quad (43)$$

В том случае, когда на поверхности бесконечно простирающегося упругого слоя ограниченной толщины в данной задаче будет действовать равномерно распределенная нагрузка p (Н/м²) по полосе бесконечной длины и постоянной ширины $2a$, задача определения функции давления решается путем интегрирования (38) согласно рис. 5:

$$\sigma = \frac{p}{2h} \int_{-a}^a \frac{\sin \frac{\pi z}{h} d\varepsilon}{\operatorname{ch} \frac{\pi(x+\varepsilon)}{h} + \cos \frac{\pi z}{h}}.$$

После интегрирования и подстановки пределов получим:

$$\sigma = \frac{p}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \left(\operatorname{th} \frac{\pi(x+a)}{2h} \operatorname{tg} \frac{\pi z}{2h} \right) - \operatorname{arctg} \left(\operatorname{th} \frac{\pi(x-a)}{2h} \operatorname{tg} \frac{\pi z}{2h} \right) \right]. \quad (44)$$

Для определения компонентов напряжений и компонентов деформаций от чистого формоизменения запишем частные производные (44):

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \frac{p}{2h} \cdot \left[-\frac{4 \operatorname{th}^3 \frac{\pi(x+a)}{2h} \cdot \sec^2 \frac{\pi(x+a)}{2h} \operatorname{tg}^4 \frac{\pi z}{2h}}{1 + \operatorname{th}^4 \frac{\pi(x+a)}{2h} \cdot \operatorname{tg}^4 \frac{\pi z}{2h}} + \frac{4 \operatorname{th}^4 \frac{\pi(x-a)}{2h} \cdot \sec^2 \frac{\pi(x-a)}{2h} \operatorname{tg}^3 \frac{\pi z}{2h}}{1 + \operatorname{th}^4 \frac{\pi(x-a)}{2h} \cdot \operatorname{tg}^4 \frac{\pi z}{2h}} \right]; \quad (45)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = \frac{p}{2h} \cdot \left[-\frac{4 \operatorname{th}^4 \frac{\pi(x+a)}{2h} \cdot \operatorname{tg}^3 \frac{\pi z}{2h} \sec^2 \frac{\pi z}{2h}}{1 + \operatorname{th}^4 \frac{\pi(x+a)}{2h} \cdot \operatorname{tg}^4 \frac{\pi z}{2h}} + \frac{4 \operatorname{th} \frac{\pi(x-a)}{2h} \cdot \operatorname{tg}^3 \frac{\pi z}{2h} \sec^2 \frac{\pi z}{2h}}{1 + \operatorname{th}^4 \frac{\pi(x-a)}{2h} \cdot \operatorname{tg}^4 \frac{\pi z}{2h}} \right]. \quad (46)$$

Обозначив содержимое в квадратных скобках выражений (44, 45 и 46) соответственно A , B и D , запишем компоненты напряженного состояния:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{p}{\pi} \cdot A - \frac{p}{2h} \cdot (h-z) \cdot B; \\ \sigma_z &= \frac{p}{\pi} \cdot A + \frac{p}{2h} \cdot (h-z) \cdot B; \\ \tau_{xz} &= \frac{p}{2h} \cdot (h-z) \cdot D, \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

и компоненты смещений точек от чистого формоизменения:

$$\left. \begin{aligned} U^c &= -\kappa^c \frac{\partial \sigma}{\partial x} = -\kappa^c \frac{p}{2h} \cdot B; \\ W^c &= -\kappa^c \frac{\partial \sigma}{\partial z} = -\kappa^c \frac{p}{2h} \cdot D. \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

Перемещения от изменения плотности упругой среды могут быть определены интегрированием:

$$W^0 = \frac{p}{\pi} \int A \cdot dz + C, \quad (49)$$

где C – постоянная интегрирования, которая находится из граничных условий.

Задача № 6. В задачах № 4 и 5 были рассмотрены два предельные случаи граничных условий на контакте упругого массива с жестким основанием:

- контакт допускает только горизонтальные перемещения от чистого формоизменения;
- контакт допускает только вертикальные смещения от чистого формоизменения.

Если же условия на контакте могут допускать как горизонтальные, так и вертикальные смещения от чистого формоизменения, т.е. полные сдвиговые смещения будут направлены под некоторым углом к нему, то решение такой задачи может быть комбинацией решений задач № 4 и 5 подобно тому, как это было рассмотрено выше при решении задачи № 3.

Вывод

Подводя итог представленным выше решениям, отметим, что в обычной постановке, с применением обобщенного физического закона, решений этих задач не получено, использование же предлагаемых физических зависимостей приводит к расширению круга решаемых задач с одновременным более точным отражением самого явления деформирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадалаха, И. К. Постановка и решение задач теории упругости с использованием потенциала [Текст] / И. К. Бадалаха // Дніпропетр. держ.

- техн. ун-т залізн. трансп : зб. наук. пр. «Будівництво». – 1999. – Вип. 6. – С. 173-184.
2. Бадалаха, И. К. Определение напряженно-деформированного состояния упругих массивов путем выделения объемных и сдвиговых деформаций [Текст] / И. К. Бадалаха // Ин-т геотехнической мех-ки НАН Украины : межвед. сб. науч. тр. – Вип. 18. – Д.: Поліграфіст, 2000. – С. 119-127.
 3. Бадалаха, И. К. Решение задач теории упругости с отдельным определением чистых и объемных деформаций [Текст] / И. К. Бадалаха // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 154-159.
 4. Бадалаха, И. К. Влияние гидродинамических факторов на устойчивость оснований и сооружений из насыпных грунтов [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук / И. К. Бадалаха. – Д., 1980. – 199 с.
 5. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений [Текст] / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М.: Наука, 1971. – 1108 с.
 6. Мачерет, Я. А. Распределение мгновенных напоров и давлений в грунтовой массе, вызванных мгновенной нагрузкой [Текст] / Я. А. Мачерет // Тр. ВИОС, сборник 4. – М., 1934. – 123 с.
 7. Бадалаха, И. К. Напряженно-деформированное состояние упругого полупространства от погонной линейной нагрузки, действующей на ограниченном и неограниченном протяжении его поверхности [Текст] / И. К. Бадалаха // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 98-102.
 8. Флорин, В. А. Основы механики грунтов [Текст]. – т. I / В. А. Флорин // Л.-М.: Госизд-во лит-ры по строит., арх-ре и строит. материалам, 1959. – 359 с.
- Поступила в редколлегию 22.12.2009.
Принята к печати 28.12.2009.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ З ГЕОМЕТРИЧНИМИ НЕОДНОРІДНОСТЯМИ, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ ПІД ДІЄЮ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

Стаття присвячена проблемі оптимізації параметрів конструкцій, які мають геометричні неоднорідності та перебувають в агресивному середовищі. Для її вирішення був побудований алгоритм спрямованого пошуку, який базується на принципі етапності та включає відомі методи, скомбіновані таким чином, щоб успішно вирішувати складні задачі оптимального проектування транспортних конструкцій під дією агресивних середовищ. В якості ілюстрації наведено приклад пошуку оптимального підкріплення кругового отвору в пластині, що схильна до корозійного зносу.

Статья посвящена проблеме оптимизации параметров конструкций с геометрическими неоднородностями, которые находятся в агрессивной среде. Для её решения был построен алгоритм направленного поиска, который базируется на принципе этапности и включает в себя известные методы, скомбинированные таким образом, чтобы успешно решать сложные задачи оптимального проектирования транспортных конструкций под действием агрессивных сред. В качестве иллюстрации приведен пример поиска оптимального подкрепления кругового отверстия в пластине, подверженной коррозионному износу.

The article is devoted the problem of optimization of parameters of constructions with geometric inhomogeneities, which are in the aggressive environment. For its solution the algorithm of directed search was built based on the stage principle and including the known methods, which are successfully combined to solve the intricate problems of the optimum planning of transport constructions under the aggressive environments action. As an illustration the example of optimum search of circular opening reinforcement in a plate under corrosive wear is considered.

Елементами багатьох транспортних споруд є конструкції, які в процесі експлуатації підлягають не лише дії навантажень, температур, але й хімічно активних середовищ. При цьому, вказані фактори нерідко діють спільно, в найсприятливіших поєднаннях, що приводить до зменшення несучої здатності конструкцій і значного скорочення терміну їх служби. Неврахування впливу агресивних середовищ може приводити до передчасного або аварійного виходу з ладу споруд. В період економічної кризи особливо актуальною стає проблема створення міцних і легких конструкцій, що виготовлені з максимальною економією матеріалу та здатні працювати в агресивних середовищах протягом встановленого терміну служби.

Серед задач оптимального проектування конструкцій під дією агресивних середовищ, що широко досліджуються останнім часом українськими вченими, наприклад, в роботах [1 – 3], задача пошуку оптимальних параметрів конструкцій з геометричними неоднорідностями, такими як отвори, практично не розглянута. Наведена задача є досить складною, коли швидкість корозії залежить від напруг. У цьому випадку зона концентрації напружень поблизу отворів стає ще небезпечнішою внаслідок взаємного впливу механіко-хімічних факторів, що

приводить, як правило, до передчасного виходу конструкції з ладу. Розрахунок довговічності таких споруд є сам по собі громіздкою і нетривіальною задачею, котру при пошуку оптимальних параметрів доводиться вирішувати на кожному кроці оптимізації, що, як правило, складає десятки, а деколи і сотні разів. При великій розмірності задачі це може бути серйозною проблемою, яка вимагає значних обчислювальних ресурсів, що не завжди можливо. Вживання існуючих оптимізаційних алгоритмів, адаптованих під вирішення широкого класу завдань пошуку оптимальних параметрів конструкцій під впливом агресивних середовищ, стає неефективним для оптимізації конструкцій з геометричними неоднорідностями.

Тому *ціллю даної статті* є визначення оптимальних параметрів конструкцій з геометричними неоднорідностями типу підкріплених отворів, що перебувають під дією агресивних середовищ, за допомогою розробленого ефективного оптимізаційного алгоритму, який найбільш повно враховує особливості задач наведеного класу.

Для прямокутної пластини з круговим отвором, підкріпленим двосторонніми ребрами постійної товщини, що розтягнута рівномірно розподіленим навантаженням q_x (рис. 1) і пе-

ребуває в агресивно-активному середовищі, де швидкість корозії залежить від напруженого стану конструкції, формулюється наступна оптимізаційна задача: знайти таку форму підкріплювальних ребер, щоб обсяг їх матеріалу був мінімальним, але при заданому навантаженні інтенсивність напружень у момент часу $[t]$ не перевищила припустимої величини.

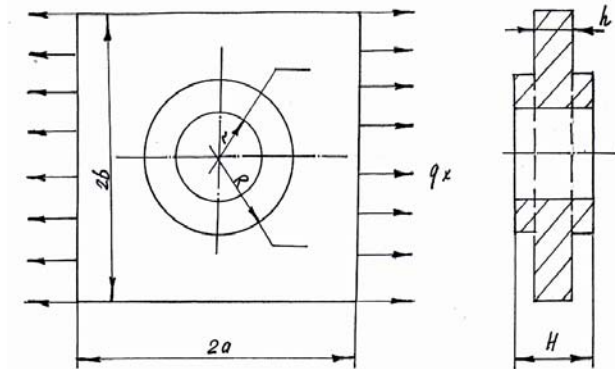


Рис. 1. Пластина з круговим отвором, підкріпленим двосторонніми ребрами постійної товщини

Постановка задачі оптимального проектування у формі задачі нелінійного математичного програмування записується у вигляді:

$$G(\bar{x}) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$g_i(\bar{x}, t) \geq 0; \quad (2)$$

$$x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, \quad i = \overline{1, M}, \quad (3)$$

де $G(\bar{x})$ – цільова функція;

$g_i(\bar{x}, t)$ – обмеження по міцності, які залежать від часу t ;

$\bar{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ – вектор змінюваних параметрів;

x_i^-, x_i^+ – верхня і нижня границі конструктивних обмежень;

M – кількість змінюваних параметрів.

Вважаємо, що розрахунок міцності конструкції у будь-який момент часу проводиться методом скінченних елементів.

При проектуванні підкріплення отвору в пластинах, як правило, мінімум маси (або його обсягу) відшукується за рахунок варіації товщин елементів при незмінній формі підкріплення. Однак, у ряді випадків з конструктивних, функціональних або технологічних розумінь доцільно прийняти постійною товщину підкріплення, а якість конструкції поліпшити за рахунок зміни форми підкріплення таким чином, щоб конструкція могла безаварійно експлуатуватися в агресивному середовищі заданий час.

Постановка задачі (1)–(3), де змінюваними параметрами виступають координати вузлів зовнішньої границі підкріплення, записується у наступному вигляді:

$$G(\bar{x}) = \sum_{j=1}^m F_{0j}(\bar{x})(h_{0j} - h_0) \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$\sigma_i^* \leq \sigma, \quad i = \overline{1, n}; \quad (5)$$

$$\min\{t_1^*, t_2^*, \dots, t_n^*\} \geq [t]; \quad (6)$$

$$\bar{x}_0 \leq \bar{x} \leq \bar{x}_k, \quad (7)$$

де $G(\bar{x})$ – обсяг підкріплення;

F_{0j} – площа j -го скінченного елемента в початковий момент часу;

h_{0j} – товщина j -го скінченного елемента, що відноситься до підкріплення, у початковий момент часу;

$\bar{x}$ – вектор координат елементів, що апроксимують підкріплення;

$\bar{x}_0, \bar{x}_k$ – нижня і верхня границі вектора $\bar{x}$;

h_0 – початкова товщина пластини;

σ – допустимі напруження;

$t_1^*, t_2^*, \dots, t_n^*$ – час вичерпання несучої здатності елементів конструкції;

$[t]$ – припустимий час експлуатації конструкції;

σ_i^* – еквівалентні напруження в i -тому скінченному елементі в час $[t]$;

n – кількість елементів у скінченно-елементній апроксимації;

m – кількість елементів, що апроксимують підкріплення.

Для розв'язування поставленої задачі пропонується використовувати принцип етапності [5], що полягає в розкладанні вихідної складної задачі на простіші, послідовний розгляд яких приводить до вирішення поставленої.

Для цього задача оптимального проектування конструкцій може бути розбита на наступні етапи: 1) вибір початкового наближення; 2) побудова початкової області пошуку; 3) спуск на обмеження; 4) рух до екстремуму.

Перший етап. При виборі початкового наближення доцільними є прийоми, застосовувані у проективній практиці: використання даних про прототипи конструктивних рішень; використання нормативних вимог; розгляд і аналіз більш спрощених схем з метою варіантного вибору основних параметрів, що істотно впли-

вають на зміну цільової функції й обмежувальних функцій.

Основними вимогами, що пропонуються до початкового наближення, є його приналежність області пошуку (виконання всіх обмежень) та менша відстань між початковим наближенням x^- і точкою оптимуму x^* .

Другий етап. Як правило, область пошуку вибирається на основі фізичних міркувань, досвіду проектування та інженерної інтуїції. У даній постановці вона визначається конструктивними обмеженнями.

Третій етап. Спуск на обмеження пропонується здійснювати за допомогою методів спрямованого пошуку. Найбільш ефективним і простим у реалізації представляється метод градієнтного спуску [6]:

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} - \tau^{(k)} \frac{\nabla G(x)}{\|\nabla G(x)\|} \Big|_{x=x^{(k)}}, \quad \tau^{(k)} > 0; \quad (8)$$

$$\nabla G(x) = \frac{\partial G(x)}{\partial x_1} e_1 + \dots + \frac{\partial G(x)}{\partial x_n} e_n; \quad (9)$$

$$\|\nabla G(x)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\partial G(x)/\partial x_i)^2}, \quad (10)$$

де $\nabla G(x)$ – градієнт цільової функції $G(x)$;

$1/\|\nabla G(x)\|$ – нормуючий множник;

$\tau^{(k)}$ – величина кроку у напрямку антиградієнта цільової функції;

k – номер ітерації;

e_i – базисні вектори.

На відміну від традиційного метода градієнтного спуску, пропонується перевіряти обмеження в $(2^k + 1)$ точках, зберігаючи інформацію в двох останніх із них. Якщо усі функції обмежень в останній точці пошуку задовольняють обмеженням, то спуск продовжується, у протилежному випадку в межах останнього інтервалу вибирається третя точка з номером 2^k , у якій перевіряються обмеження. Перевірка обмежень тільки в зазначених точках дозволяє скоротити обчислення в $\frac{2^k + 1}{k + 2}$ раз у порівнянні з традиційним підходом [5].

На основі інформації, отриманої з використанням методу градієнтного спуску, здійснюється локалізація точки, що знаходиться поблизу активного обмеження. Для цього будується інтерполяційний поліном, що апроксимує значення обмежень у останніх трьох точках у на-

прямку найшвидшого зменшення цільової функції:

$$P(H) = a_0 + a_1 H + a_2 H^2. \quad (11)$$

Використовуючи значення функції обмежень $g_m(m = \overline{0, 2})$ у вузлах $H_0 = 0$, $H_1 = h$, $H_2 = \zeta h$, можна однозначно знайти коефіцієнти полінома a_0, a_1, a_2 :

$$a_0 = g_0; \quad (12)$$

$$a_1 = \frac{g_1 \zeta^2 - g_2 - g_0(\zeta^2 - 1)}{\zeta h(\zeta - 1)}; \quad (13)$$

$$a_2 = \frac{g_1 \zeta - g_2 - g_0(\zeta - 1)}{\zeta h^2(1 - \zeta)}, \quad (14)$$

де ζ – відома величина.

Тоді положення точки пошуку на активному обмеженні (або обмеженнях) визначається як

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} - \frac{h^*}{\|\nabla G(x)\|} \frac{\partial G(x)}{\partial x_i} \Big|_{x=x^{(k)}}, \quad (i = \overline{1, M}), \quad (15)$$

де

$$h^* = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_0a_2}}{2a_2}. \quad (16)$$

Четвертий етап. Після того, як поверхня обмеження досягнута, необхідно вибрати напрямки руху в локальний екстремум. Для цього може бути використано метод проекції градієнта. Цей метод, як відомо [6], містить у собі два етапи: етап найбільшого зменшення цільової функції уздовж дотичної гіперплощини до активного нелінійного обмеження; етап відновлення з метою задоволення активного обмеження із заданою точністю.

Напрямок найбільш інтенсивного зменшення значень цільової функції $p^{(k)}$ визначається як

$$p_i^{(k)} = r_i^{(k)} - \alpha_i b_i^{(k)}, \quad (i = \overline{1, M}), \quad (17)$$

де $r_i^{(k)} = -\nabla G(x_i^{(k)})$ – антиградієнт цільової функції;

$b_i^{(k)} = \nabla g(x_i^{(k)})$ – градієнт функції обмежень у точці $x_i^{(k)}$;

α_i – коефіцієнт, що обумовлений ортогональністю векторів $b^{(k)}$, $p^{(k)}$ як

$$\alpha_i = \frac{(r_i^{(k)}, b_i^{(k)})}{\|b_i^{(k)}\|^2}, \quad (18)$$

де

$$\|p^{(k)}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i^{(k)})^2}, \quad \|b^{(k)}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i^{(k)})^2}. \quad (19)$$

Процес руху уздовж напрямку $p^{(k)}$ здійснюється відповідно до наступної формули:

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + \frac{\gamma p_i^{(k)}}{\|p^{(k)}\|}, \quad (20)$$

де γ – величина кроку ($\gamma > 0$).

Якщо хоча одне з обмежень у точці $x_i^{(k+1)}$ не задовольняється, то його відновлення здійснюється шляхом руху із зазначеної точки уздовж напрямку градієнта цільової функції і подальшої локалізації відповідно до запропонованого у статті алгоритму.

На відміну від традиційного методу проекції градієнта, у запропонованому алгоритмі немає необхідності робити точний вихід на поверхню обмежень у випадку їхнього задоволення, досить лише визначити напрямок руху в локальний екстремум. Зазначений напрямок задається у вигляді [6]:

$$x_i^{(k+l+2)} = x_i^{(k+l+1)} + \tau \frac{x_i^{(k+l+1)} - x_i^{(k+l)}}{\|x_i^{(k+l+1)} - x_i^{(k+l)}\|}, \quad (21)$$

$\tau > 0; \quad l = \overline{0, L},$

де L – кількість точок у напрямку t .

Рух уздовж обраного таким чином напрямку здійснюється доти, поки не будуть порушені обмеження або не почнуть зростати значення цільової функції. Обмеження, як і раніше, перевіряються в $(2^k + 1)$ точках ($k = 0, 1, 2, \dots$). При порушенні обмежень використовується описана раніше процедура локалізації точки поблизу активного (активних) з них. У випадку зростання цільової функції в точці $x^{(k)}$ здійснюється повернення в попередню точку $x^{(k-1)}$ і подальший спуск на поверхню обмежень. Потім за допомогою методу проекції градієнта відбувається вибір нового напрямку руху.

Процес пошуку локального екстремуму здійснюється доти, поки не буде виконано одне (або одночасно декілька) з наступних умов:

$$|G(x_i^{(k+1)})| > |G(x_i^{(k)})| < |G(x_i^{(k-1)})| \quad (22)$$

та

$$\|x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}\| \leq \varepsilon, \quad (23)$$

де ε – задана точність розрахунку.

Складності коректної реалізації такого алгоритму пов'язані, головним чином, із необхідністю багаторазової перебудови сітки скінченних елементів. Така процедура є досить відповідальною, тому що підкріплення не знімає концентрацію напружень повністю, і, отже, існує зона швидкої зміни напружень. Таким чином, на кожному кроці пошуку оптимального проекту необхідно перебудовувати сітку, кількість елементів якої буде змінюватися, і, як наслідок, перевіряти точність отриманого на ній розрахунку, що може виявитися досить трудомісткою задачею. Тому для пошуку оптимальної форми підкріплення отворів у пластинах пропонується не перебудовувати їх розбиття на скінченні елементи, а використовувати елементи дискретного програмування [6], тобто змінювати границю підкріплення з вузлами початкової сітки, найбільш близькими до знайдених в результаті розв'язування задачі оптимізації. Таким чином, пошук оптимальної форми підкріплення являє собою процес зміни товщин елементів, значення яких на кожному кроці пошуку відомі, при незмінній сітці скінченних елементів. Похибка описаного припущення має порядок кроку сітки. Оскільки в зоні підкріплення внаслідок швидкої зміни напружень використовується досить дрібне розбиття на елементи, похибка застосування такої операції виявляється незначною.

Задамо координати вузлів у полярній системі. Для спрощення розрахунків сітку скінченних елементів побудуємо таким чином, щоб впливом зміни кута повороту можна було зневажити. Після перебування чергової точки у просторі проектування визначаємо приналежність кожного радіусу-вектора шарової сітки і відстань до його границь. Границя шару, відстань до якої є найменшою, стає координатою точки $\bar{x} = \{r_1, r_2, \dots, r_\mu\}$ в просторі проектування.

З урахуванням симетрії розглядається четверта частина пластини. Пластина, що розраховується, мала наступні параметри:

$a = 0,5$ м – половина довжини пластини;

$b = 0,5$ м – половина ширини пластини;

$r = 0,03$ м – радіус отвору;

$R = 0,05$ м – радіус підкріплення;

$h = 0,02$ м – товщина в регулярній частині пластини;

$H = 0,065$ м – товщина пластини в зоні підкріплення;

$E = 2,1 \cdot 10^7$ МПа – модуль пружності;

$\gamma = 0,3$ – коефіцієнт Пуассона;

$\sigma = 2,4 \cdot 10^4$ МПа – припустимі напруження.

Сітка трикутних елементів, що апроксимують зону підкріплення, наведена на рис. 2.

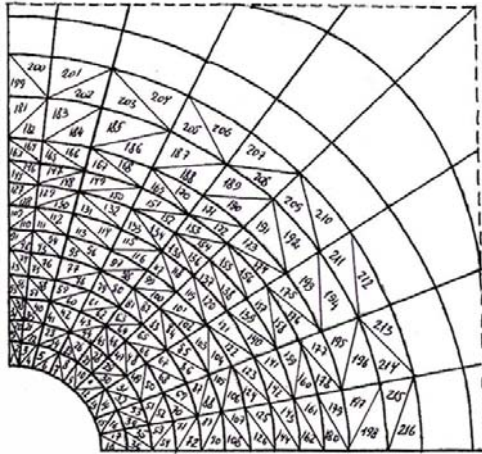


Рис. 2. Розбиття пластини поблизу отвору

Середня площа елементів, що належать зоні підкріплення, склала $0,3 \cdot 10^{-4}$ м². Напруження на кінцях пластини $\sigma_{0,x}$ змінювались в діапазоні від $5,5 \cdot 10^4$ до $7,5 \cdot 10^4$ МПа.

У якості моделі корозійного руйнування матеріалу конструкції була вибрана модель В. М. Долинського [4], де швидкість корозії залежить від напруженого стану конструкції.

Рішення поставленої задачі знайдені для чотирьох значень критичного часу експлуатації конструкції $[t] = 2; 2,5; 3; 3,5$ роки.

Пошук оптимальних проектів зажадав 13...16 кроків залежно від початкових умов (рівня напружень на кінцях пластини та значень критичного часу експлуатації конструкції). Рішення такої задачі методом, що запропонований у статті [3], потребувало втричі або вчетверо більше кроків (залежно від початкових умов), і як наслідок в десятки разів більше обчислювальних ресурсів, тому що на кожному кроці для перевірки обмежень вирішувалась задача довговічності, яка сама по собі є ресурсомісткою, особливо для багаторозмірних задач. Отримані результати дозволяють зробити висновок про ефективність розробленого алгоритму для рішення задач наведеного класу.

Залежність оптимального об'єму підкріплення від рівня навантаження на краях пластини подана на рис. 3. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що зі збільшенням рівня навантаження зменшується

вплив граничного часу експлуатації конструкції на розмір оптимального об'єму.

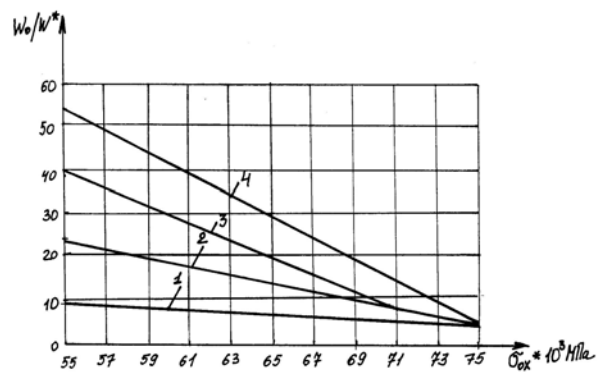


Рис. 3. Залежність оптимального об'єму підкріплення від навантаження на краях пластини:
1 – $[t] = 2$ роки; 2 – $[t] = 2,5$ роки; 3 – $[t] = 3$ роки;
4 – $[t] = 3,5$ роки

Зміни геометрії підкріплення у залежності від розміру крайових напружень наведена на рис. 4 – 5.

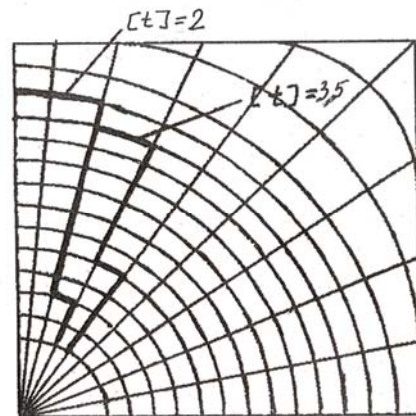


Рис. 4. Геометрія оптимального підкріплення при $7,5 \cdot 10^4$ МПа

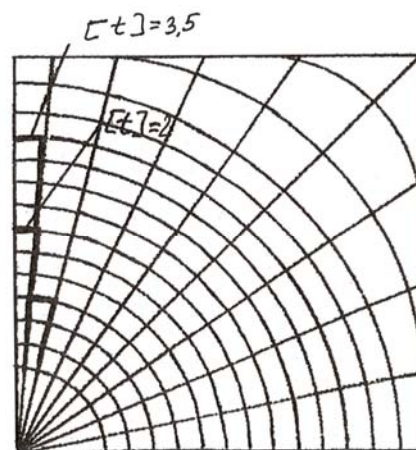


Рис. 5. Геометрія оптимального підкріплення при $5,5 \cdot 10^4$ МПа

Аналіз наведених результатів дозволяє зробити висновок про те, що розмір напружень σ_{0x} практично не впливає на форму оптимального підкріплення при однакових параметрах агресивного середовища, а лише приводить до зміни його площі. Характер зміни форми підкріплення, що досліджений при збільшенні значення припустимого часу $[t]$ та фіксованому рівні навантаження на кінцях пластини, якісно збігається з характером зміни форми, викликаного збільшенням значень навантаження при постійній величині критичного часу $[t]$.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дзюба, А. П. Алгоритм оптимального проектування конструкцій з урахуванням корозійного ураження [Текст] / А. П. Дзюба, О. Г. Василенко // Математичні проблеми технічної механіки: матеріали Міжн. наук. конф. – Д., Дніпродзержинськ: РВВ ДДТУ, 2007. – 1 с.
2. Дзюба, А. П. Алгоритм оптимального проектування фермових конструкцій при спільній дії силових навантажень та агресивного середови-

ща [Текст] / А. П. Дзюба, О. Г. Василенко // Математичні проблеми технічної механіки – 2008 : матеріали Міжн. наук. конф. – Д., Дніпродзержинськ: РВВ ДДТУ, 2008. – 1 с.

3. Зеленцов, Д. Г. Адаптация метода скользящего допуска к задачам оптимизации корродирующих конструкций [Текст] / Д. Г. Зеленцов, Н. Ю. Науменко // Системні технології : регіональний міжвуз. зб. наук. пр. – Вип. 3 (38). – Д., 2005. – С. 48-56.
4. Долинский, В. М. Расчет элементов конструкций, подверженных равномерной коррозии [Текст] / В. М. Долинский // Исследования по теории оболочек. – Казань, 1976. – Вып. 7. – С. 37-42.
5. Малков, В. П. Оптимизация упругих систем [Текст] / В. П. Малков, А. Г. Угодчиков. – М.: Наука, 1981. – 288 с.
6. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

Надійшла до редколегії 09.10.2009.

Прийнята до друку 20.10.2009.

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ОЦІНКИ І ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ КОМПЛЕКСНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ

Виконано дослідження розвитку методів оцінки і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень реконструкції об'єктів будівництва, зокрема комплексної реконструкції житлової забудови.

Выполнено исследование развития методов оценки и выбора рациональных организационно-технологических решений реконструкции объектов строительства, в том числе комплексной реконструкции жилой застройки.

The research of development of methods of estimation and choice of rational organizational-and-technological decisions of reconstruction of building objects including the complex reconstruction of dwelling building is executed.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими і практичними завданнями

Вирішення проблеми поліпшення умов проживання населення у будинках перших масових серій, поява якої зумовлена незадовільним технічним станом та низькими експлуатаційними якостями застарілого житлового фонду, потребує розробки і впровадження прогресивних архітектурно-технічних та організаційно-технологічних рішень, систем інженерного обладнання і методів енергозбереження, що відповідає основним завданням «Програми реконструкції житлових будинків перших масових серій», затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України № 820 від 14 травня 1999 р., та Закону України № 525-V від 22 грудня 2006 р. «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду».

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як свідчать праці [13, 17, 26], розробка та реалізація концепції комплексної реконструкції житлової забудови передбачає здійснення обґрунтування та вибору раціональних організаційно-технологічних рішень реконструкції житлового фонду та об'єктів інфраструктури.

Метою статті є дослідження розвитку методів оцінки і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень комплексної реконструкції житлової забудови.

Виклад матеріалу

В сучасних соціально-економічних умовах розвитку України однією з найважливіших є проблема формування та функціонування міст, одним з основних елементів яких є житловий фонд. Вирішення цієї проблеми потребує дослідження перспектив його розвитку.

Динамічність та постійне ускладнення проблем міста, пов'язаних із зростаючими процесами урбанізації, постійними змінами функціонально-планувальної організації, інженерного обладнання та інженерної підготовки території міст, потребують постійного осмислення тенденцій, що зароджуються у світовій та вітчизняній практиці, і своєчасного реагування в проектуванні.

Прийняття рішень в умовах обмежених матеріальних, фінансових, трудових ресурсів, необхідних для забезпечення стійкого розвитку міст, потребує вдосконалення методів визначення та оцінки проблем, а також їх дослідження.

Існуюча нормативна та науково-методична база використовується й досі, але виникнення якісно нових умов і методів дослідження інвестиційно-будівельної діяльності, проектування, управління процесами функціонування і розвитку сучасних міст та міського господарства потребує подальшого вдосконалення основ планування і благоустрою міст, які мають розроблятися за допомогою нових сучасних методів і підходів: системно-структурного аналізу, моде-

лювання, сучасних інформаційних технологій тощо.

Містобудівне проектування усе більше переходить від методів конструктивного проектування міського середовища до методів наукового проектування, з усіма притаманними науковому аналізу складовими: аналіз сучасного стану і визначення проблем розвитку об'єкта; визначення прогресивних тенденцій розвитку об'єкта, його функціонально-планувальних елементів і систем, а також факторів та умов, що визначають його перспективний розвиток; конструювання моделей перспективного розвитку об'єкта відповідно до цілей і ресурсних можливостей з визначенням першочергових заходів; наукове обґрунтування напрямів і темпів розвитку об'єкта в цілому та його складових.

Такий підхід потребує відповідної формалізації об'єкта і може бути реалізований тільки в умовах відповідного інформаційного та технічного забезпечення.

Сьогодні головними завданнями містобудування є: підвищення ефективності управління містобудівним розвитком відповідно до соціально-демографічних умов, економічних, екологічних і технологічних факторів; раціональне використання ресурсів містобудівного розвитку; утримання капітальних фондів; інформаційне забезпечення інвестиційного процесу; інженерно-технічне забезпечення забудови міст [8].

Вирішення проблем експлуатації та відновлення об'єктів будівництва стосувалося спочатку промислових підприємств. Одержані при дослідженні реконструкції промислових підприємств результати були надалі розвинуті та поширені на житлово-цивільні будівлі.

Широкомасштабні дослідження окремих проблем реконструкції промислових підприємств розпочалися в 80-х роках ХХ ст. Держбуд СРСР та Держбуд УРСР розробили низку науково-технічних програм за участю науково-дослідних інститутів, проектних організацій та наукових установ (ЦНИИОМТП, ЦНИИпромзданий, НИИСП, НИИЭС, НИИПроекты, МИСИ, КИСИ, ДИСИ) із залученням провідних науковців і спеціалістів: В. С. Балицького, Ю. І. Беякова, В. І. Большакова, С. М. Булгакова, В. П. Володіна, К. Б. Ганієва, Д. Ф. Гончаренка, О. А. Гусакова, В. А. Давидова, Е. К. Завадскаса, В. Г. Клименка, В. М. Кірноса, Ю. Б. Монфреда, М. Д. Спектора, Р. Б. Тяна, Є. П. Уварова, Т. М. Цая, В. І. Швиденка, А. К. Шрейбера [1, 3, 7, 11, 15, 21, 23, 25] та ін. Дослідження були присвячені розробці методів

формування інженерної підготовки реконструкції підприємств, нормуванню та скороченню тривалості реконструкції, дослідженню впливу умов діючого виробництва на продуктивність праці, ефективності будівельно-монтажних робіт при реконструкції, вдосконаленню технології та організації виробництва будівельно-монтажних робіт в умовах реконструкції за рахунок врахування її специфічних особливостей, які характеризуються множиною факторів, що виявляються на різних об'єктах з різною частотою, неоднаковою інтенсивністю і в множині різноманітних комбінацій, створюють на кожному реконструйованому об'єкті неповторність умов виробництва будівельно-монтажних робіт, а також обґрунтуванню та регулюванню тривалості, вартості та трудомісткості реконструкції, технічного переобладнання та капітального ремонту промислових підприємств.

В останні десятиріччя на основі результатів, отриманих при виконанні досліджень реконструкції промислових підприємств, одержали подальший розвиток наукові праці, спрямовані на пошук раціональних організаційно-технологічних рішень реконструкції житлово-цивільних будівель, зокрема роботи В. І. Большакова, А. Д. Єсипенко, Є. П. Матвєєва, А. В. Радкевича, В. І. Торкатюка, В. Т. Шаленного, К. А. Шрейбера та ін. [2, 9, 13, 19, 20, 24, 25].

Проблема оновлення застарілого 5-поверхового житлового фонду виникла вже в другій половині 80-х років ХХ століття. Відповідно було визначено основні види перетворювальних заходів: капітальний ремонт, реконструкція, знесення.

З 1985 р. проектні і науково-дослідні організації включилися в підготовку нормативної, методичної і технічної документації щодо ремонту та реконструкції забудови 60-70-х рр. минулого століття (ЦНИИЭП жилища, МосжилНИИпроект, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИЭП инженерного оборудования, КиївЗНДІЕП), всебічно висвітлювали питання ремонту та реконструкції 5-поверхових житлових будинків першого періоду масового домобудування [1].

Також враховувався досвід реконструкції житлових будівель у Росії, Білорусі, Польщі, Німеччині та інших країнах близького та дальнього зарубіжжя [3, 10, 12, 17].

Вивчення проблем реконструкції стосувалося, головним чином, визначення принципової можливості та пошуку раціональних шляхів пристосування конструктивно-планувальних схем будинків до сучасних вимог. Такі дослідження були виконані в період 80-90-х рр. ХХ

сторіччя інститутами Укрпроектреконструкція, Київпроект, Харківпроект, НДІпроектреконструкція. У результаті аналізу різних планувальних схем, експериментального проектування була визначена не тільки принципова можливість, але й показані напрямки і технічні прийоми сприятливого поліпшення планування квартир. Були визначені також приблизні матеріальні та фінансові витрати, способи організації будівництва з відселенням і без відселення мешканців.

Результати цих досліджень, а також узагальнення досвіду експериментальних робіт з реконструкції 5-поверхових житлових будинків у Києві, Дніпропетровську, Харкові, Москві та інших містах свідчить про те, що в останні роки проводилася суттєва робота зі створення науково-методичної бази реконструкції п'ятиповерхових житлових будинків. Це дозволяє стверджувати, що при відносно невеликих, у порівнянні з новим будівництвом, витратах і при використанні сучасних технологій можна підвищити технічні та експлуатаційні якості будівель, рівень їх тепло-, звуко- та гідроізоляції, комфортність, стійкість і довговічність [1].

При вирішенні проблем реконструкції житлово-цивільних будівель досліджуються наступні питання:

- конструктивні рішення та методи розрахунку несучої здатності створюваних систем з урахуванням діагностики теперішнього стану об'єктів;
- об'ємно-планувальні рішення при реконструкції будівель;
- організаційно-технологічні рішення реконструкції житлових будівель;
- технологія та організація виробництва робіт з утеплення будівель, в тому числі довговічність та ремонтпридатність впроваджуваних систем;
- формування та раціоналізація показників енергозбереження в життєвому циклі житлових будівель;
- організаційно-технологічне забезпечення надійності та безпечної експлуатації житлових будівель;
- організація проектування, інвестування та виробництва робіт в умовах обмежених ресурсів;
- нормативно-правові аспекти, пов'язані зі зміною форм власності та різноспрямованістю інтересів потенційних учасників інвестиційних проектів;
- ефективна експлуатація житлового фонду, зокрема поточні та капітальні ремонти;

– техніко-економічна ефективність та інвестиційна привабливість можливих варіантів продовження життєвого циклу житлових будівель [6, 7, 9, 14, 16, 24, 25, 26].

Не дивлячись на перелічену низку проблем, дослідженням та вирішенням яких займаються як в Україні, так і за кордоном, можна відзначити недостатнє висвітлення питань приведення у відповідність до сучасних норм і потреб населення організації побутових процесів, відсутність прийнятної методології вибору раціональних організаційно-технологічних рішень комплексної реконструкції житлової забудови.

З переходом до ринкових відносин при розробці та реалізації інвестиційно-будівельних проектів на перше місце постають питання комерційної ефективності для їх безпосередніх учасників, які вирішуються на основі методології управління проектами. В Україні питанням оцінки ефективності організаційно-технологічних рішень із застосуванням методичних підходів теорії управління проектами присвячені роботи С. Д. Бушуєва, В. Т. Вечерова, В. Р. Млодецького, І. Д. Павлова, С. Ф. Покропивного, Р. Б. Тяна, В. А. Ткаченка, В. Т. Шаленного [5, 6, 14, 16, 18, 22, 24] та ін. Вплив ринкових факторів враховується шляхом дисконтування вигід і витрат.

Більш складною є проблема визначення економічної ефективності не для окремих етапів інвестиційних проектів, а для всього життєвого циклу житлово-цивільних будівель. Складність досліджуваних взаємозв'язків, необхідність комплексного підходу до вирішення науково-прикладної проблеми реконструкції житлового фонду, а також основоположні праці провідних спеціалістів в галузі технології та організації будівництва обумовлюють необхідність системного підходу до її вирішення.

Розроблені М. П. Бусленком ідеї теорії систем використовуються дослідниками в галузі технології та організації будівництва: В. А. Афанасьєвим, Ю. І. Беяковим, М. С. Болотських, В. І. Большаковим, С. М. Булгаковим, Д. Ф. Гончаренком, О. А. Гусаковим, Е. К. Завадаском, В. М. Кірносом, О. М. Лівінським, Ю. Б. Монфредом, П. П. Олійником, Б. В. Прикіним, О. М. Пшіньком, В. І. Торкатюком, Р. Б. Тяном, С. А. Ушацьким, Т. М. Цаєм, К. А. Шрейбером та ін. [2, 3, 7, 11, 15, 20 – 25].

В працях Л. М. Шутенка існуючий доробок в галузі реконструкції житлових будівель був поширений на весь життєвий цикл міського житлового фонду: розроблено теоретичні основи формування, функціонування та відновлення

(життєвого циклу) житлового фонду шляхом вивчення та моделювання складної системи, яка може адаптуватися та включає комплекс інноваційних технологічних, організаційних та технічних складових.

В працях В. Т. Шаленного розробки [26] поширені на комплексні дослідження енерго-

збереження на визначальних етапах життєвого циклу цивільних будинків.

В [17] проблема реконструкції індустріальної житлової забудови розглядається в поєднанні з проблемою зниження експлуатаційно-енергетичних витрат з метою створення житлових масивів енергоефективної експлуатації.

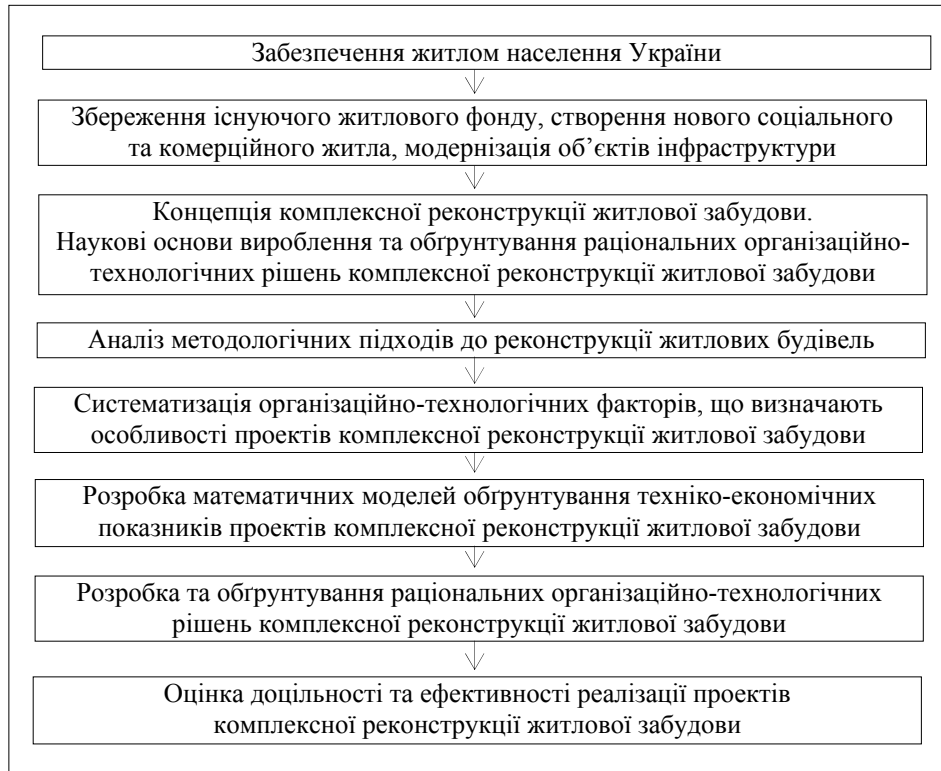


Рис. 1. Структурно-логічна схема дослідження

Висновки та перспективи подальших досліджень

Видається можливим поширення запропонованих в наукових працях [11, 17, 24, 26] концепцій і на дослідження комплексної реконструкції аналогічної складної керованої системи формування та функціонування будівельних об'єктів (житлових будівель та об'єктів інфраструктури) житлових кварталів (мікрорайонів) в межах їх повного життєвого циклу (рис. 1). Для цього потрібно з позицій комплексного підходу та наявних результатів досліджень формалізувати систему у вигляді відповідних математичних моделей, виділити та обґрунтувати її визначальні етапи і таким чином обґрунтовано здійснювати вибір перспективних напрямів розвитку застарілого житлового фонду та об'єктів його інфраструктури.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Биваліна, М. В. Методи і прийоми удосконалення функціонально-планувальної організації

квартир у процесі реконструкції житлових будинків серії 1-480 [Текст] / М. В. Биваліна // Містобудування та територіальне планування. – 2008. – № 31. – С. 12-20.

2. Реконструкция жилого дома с надстройкой этажей на ул. Батумской, 10 г. Днепропетровска [Текст] : учеб. пособие / В. И. Большаков и др.; под ред. В. И. Большакова. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 188 с.
3. Булгаков, С. Н. Реконструкция жилых домов первых массовых серий и малоэтажной жилой застройки [Текст] / С. Н. Булгаков. – М.: ООО «Глобус», 2001. – 248 с.
4. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
5. Бушуєв, С. Д. Динамічне лідерство в управлінні проектами [Текст] / С. Д. Бушуєв, В. В. Морозов. – К.: Українська асоціація управління проектами, 1999. – 312 с.
6. Вечеров, В. Т. Модели и методы управления контракцией в строительстве [Текст] : автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 / В. Т. Вечеров. – СПб., 1993. – 32 с.

7. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства [Текст] / А. А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1974. – 252 с.
8. Дьомін, М. М. Планування та благоустрій міст [Текст] / М. М. Дьомін, О. Д. Міщенко, О. І. Сингаївська // Містобудування та територіальне планування. – 2009. – № 32. – С. 13-30.
9. Єсипенко, А. Д. Наукові основи забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель та споруд [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / А. Д. Єсипенко. – Д., 2007. – 40 с.
10. Задворны, М. Некоторые проблемы реконструкции городского жилого фонда в Польше [Текст] / М. Задворны // Жилищное строительство. – 1997. – № 7. – С. 18.
11. Кирнос, В. М. Научно-методологические основы организационно-технологического регулирования продолжительности и стоимости реконструкции промышленных предприятий [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 / Кирнос Владимир Михайлович. – Х., 1994. – 351 с.
12. Костецкий, Н. Ф. Зарубежный опыт государственного регулирования воспроизводства жилищного фонда, его сохранения и модернизации [Текст] / Н. Ф. Костецкий, А. И. Гурко // Экономика строительства. – 2003. – № 1 (528). – С. 13-30.
13. Матвеев, Е. П. Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий различных периодов постройки [Текст] : автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» / Е. П. Матвеев. – М., 2000. – 48 с.
14. Млодецкий, В. Р. Управленческая реализуемость строительных проектов [Текст] / В. Р. Млодецкий. – Д.: Наука і освіта, 2005. – 261 с.
15. Монфред, Ю. Б. Организация, планирование и управление предприятиями стройиндустрии [Текст] / Ю. Б. Монфред, Б. В. Прыкин. – М.: Стройиздат, 1989. – 508 с.
16. Павлов, І. Д. Системотехнічні основи вироблення оптимальних організаційно-технологічних рішень будівельного виробництва [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.21 / І. Д. Павлов. – Х., 1997. – 47 с.
17. Пилипенко, В. М. Организационно-технологические принципы комплексной реконструкции индустриальной жилой застройки [Текст] : автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 «Технология и организация строительства», 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» / В. М. Пилипенко. – Мн., 2009. – 41 с.
18. Покропивний, С. Ф. Экономическое обоснование инженерных решений [Текст] / С. Ф. Покропивний. – К.: Техніка, 1985. – 206 с.
19. Радкевич, А. В. Визначення раціонального періоду відновлення об'єктів житлово-комунального комплексу [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / А. В. Радкевич. – Д., 1995. – 20 с.
20. Торкатюк, В. И. Принципы формирования и функционирования организационно-технологических систем обеспечения надежности возведения многоэтажных каркасных зданий (объектов) [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 / Торкатюк Владимир Иванович. – М., 1987. – 409 с.
21. Тянь, Р. Б. Рационализация рабочих мест в строительстве [Текст] / Р. Б. Тянь, В. Р. Млодецкий, Б. А. Юнаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 86 с.
22. Тянь, Р. Б. Управління проектами [Текст] : навч. посібник / Р. Б. Тянь, Б. І. Холод, В. А. Ткаченко. – Д.: Дніпропетровська академія управління, бізнесу та права, 2000. – 224 с.
23. Цай, Т. Н. Организация, экономика и управление строительством [Текст] / Т. Н. Цай, Л. А. Лаврецкий. – М.: Стройиздат, 1984. – 366 с.
24. Шаленный, В. Т. Организационно-технологические основы формирования энергосбережения на определяющих этапах жизненного цикла гражданских зданий [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 / Шаленный Василий Тимофеевич. – Д., 2004. – 406 с.
25. Шрейбер, К. А. Научно-методологические основы организации проектирования реконструкции жилых зданий [Текст] : автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» / К. А. Шрейбер. – Л., 1991. – 46 с.
26. Шутенко, Л. Н. Технологические основы формирования и оптимизации жизненного цикла городского жилого фонда (теория, практика, перспективы) [Текст] / Л. Н. Шутенко. – Х.: Майдан, 2002. – 1053 с.

Надійшла до редколегії 13.01.2010.

Прийнята до друку 19.01.2010.

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, В. Н. ГРЕБЕННИКОВ, А. С. ЩЕРБАК (ДИИТ)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОСТЕКЛА

У статті розглянуто існуючі види технологій виробництва піноскла. Показано їх переваги та недоліки.

В статье рассмотрены существующие виды технологий производства пеностекла. Показаны их преимущества и недостатки.

The existing types of foamglass production technologies are considered in the article. Their advantages and demerits are shown.

Введение

В современной строительной индустрии остро поставлены вопросы энерго- и ресурсосбережения. В Украине 45 % общего потребления энергоресурсов приходится на теплоснабжение зданий. В среднем в стране многоэтажные здания потребляют $450 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ тепла в год, а дома коттеджного типа около $800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Для сравнения в Швеции дома коттеджного типа потребляют около $135 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ тепла в год. Одним из наиболее эффективных решений этой проблемы есть снижение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений, теплосетей и т.д. Для этого необходимы разработка и применение эффективных теплоизоляционных материалов. Одним из таких материалов является пеностекло.

Задачи исследования

С целью усовершенствования эффективной технологии производства модифицированного

пеностекла необходимо рассмотреть наиболее распространенные технологии [1, 2].

Результаты исследований

В промышленном масштабе в настоящее время пеностекло производят лишь порошковым методом. При этом смесь тонко измельченного стекла и пенообразователя нагревают в огнеупорных, обычно металлических формах до спекания и вспенивания. Полученные таким образом блоки пеностекла затем медленно отжигают или в формах в той же туннельной печи, в которой производилось пенообразование (одностадийный способ производства пеностекла, рис. 1), или же после извлечения из форм во второй туннельной печи спекания при температуре около 600°C (двухстадийный способ производства пеностекла, рис. 2).

Отожженные блоки обрабатывают резанием и шлифованием до точных размеров.

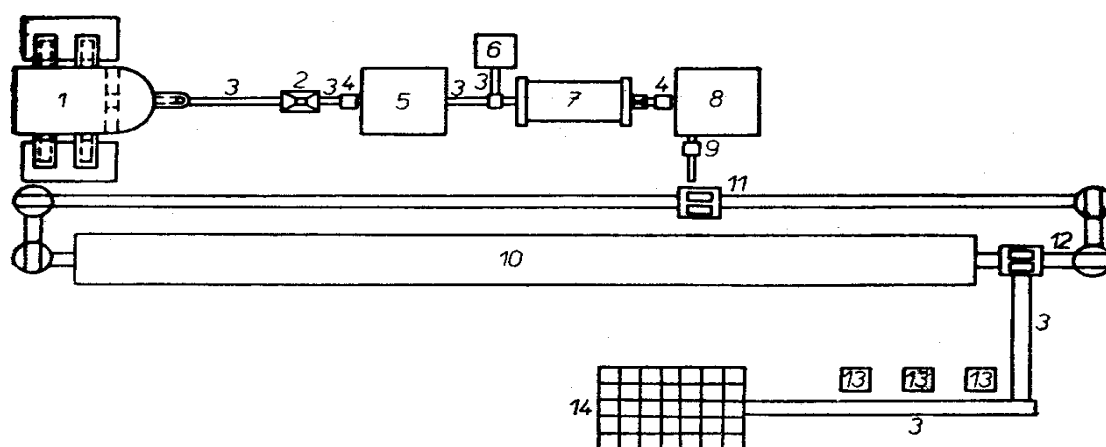


Рис. 1. Схема одностадийного способа производства пеностекла:

- 1 – варка основного стекла; 2 – измельчение необработанного стекла; 3 – ленточные транспортеры; 4 – элеваторы; 5 – бункер стекляного порошка; 6 – бункер пенообразователя; 7 – подготовка вспенивающей смеси; 8 – бункер готовой смеси; 9 – питание вспенивающей смесью; 10 – туннельная печь для пенообразования и отжига; 11 – заполнение форм; 12 – выемка блоков пеностекла из форм; 13 – обработка пеностекла; 14 – упаковка и склад блоков

Технологию производства пеностекла, следовательно, можно разделить на четыре производственных этапа.

1. Варка и подготовка основного стекла.
2. Приготовление пенообразующей смеси.
3. Вспенивание и отжиг.
4. Обработка и упаковка.

Несмотря на значительный спрос на пеностекло на мировом рынке и несмотря на то, что технология его производства в настоящее время общеизвестна и была освоена, по крайней мере, в лабораторном или полупромышленном масштабе в исследовательских лабораториях большинства промышленно развитых стран, производство пеностекла до сих пор бы-

ло налажено только в некоторых странах. Главной причиной этого являются не соображения технического порядка, а скорее всего экономические доводы. Основной трудностью в производстве пеностекла является не его технология, а необходимость обеспечения его низкой стоимости и экономической рентабельности производства. Вопросы экономики производства пеностекла, разумеется, затрагивают и собственно технологию его производства; дешевое сырье, минимальные температуру и время пенообразования, максимальный выход изделий первого сорта, возможности механизации и автоматизации и т.д. [1].

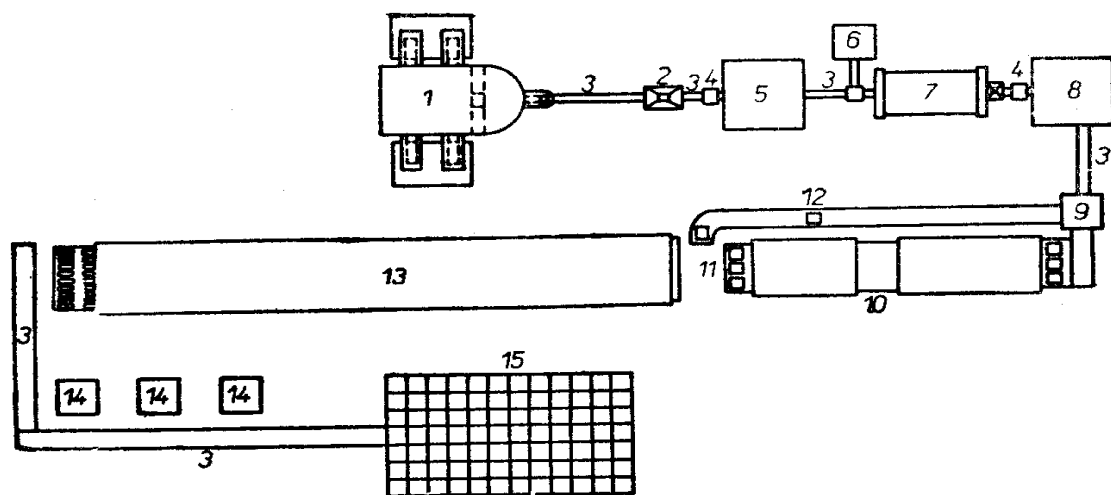


Рис. 2. Схема двухстадийного способа производства пеностекла:

- 1 – варка основного стекла; 2 – измельчение необработанного стекла; 3 – ленточные транспортеры; 4 – элеваторы; 5 – бункер стекольного порошка; 6 – бункер пенообразователя; 7 – подготовка вспенивающей смеси; 8 – бункер готовой смеси; 9 – подача вспенивающей смеси и заполнение форм; 10 – печь для вспенивания; 11 – выемка блоков из форм и перекладка их в отжигательную печь; 12 – обратный транспортер пустых форм; 13 – отжигательная печь; 14 – обработка пеностекла; 15 – упаковка и склад блоков

При получении пеностекла высокого качества возникла необходимость совершенствования ранее освоенной технологии. В институте стекла СССР под руководством И. И. Китайгородского и Б. И. Борисова разработана и испытана опытная конвейерная установка (рис. 3), позволяющая получить непрерывную ленту пеностекла толщиной 40...60 мм на движущейся жаростойкой стальной ленте. В результате проведенных испытаний была доказана принципиальная возможность получения такого пеностекла в виде непрерывной ленты. Однако, несмотря на кажущуюся простоту конструкции установки, заложенная идея в связи с техническими трудностями ее осуществления не была реализована на практике.

В институте «Гипростекло» под руководством Л. М. Бутта был также разработан про-

ект автоматической установки для производства пеностекла АУП-1 (рис. 4), строительство которой было произведено на Гомельском стеклозаводе.

При наладке режима работы АУП-1 возникли затруднения в выборе температурной кривой вспенивания, формирования ленты пеностекла, порезке ее на блоки, снятии их с поддонов и передаче в печь отжига. Ни один из предложенных и испытанных режимов вспенивания не обеспечивал нормальную работу печи.

Анализируя результаты, полученные при освоении АУП-1, отметим, что линия не была освоена из-за отсутствия необходимых сведений о механизме вспенивания пеностекла и характере изменения деформационно-упругих свойств пеномасс при их формовании. Так, неравномерность вспенивания ленты пеностекла

по высоте, как известно, легко устраняется повышением градиента температуры по вертикали, что исключает влияние гидростатического давления столбика расплава, которое обнаруживается при высоте вспениваемого образца более 100 мм. В рассматриваемой схеме печи ввиду высокой скорости движения дымовых

газов по спирали и значительного градиента температуры по ширине канала печи отсутствовала возможность регулировки температуры по высоте рабочего канала. Соотношение высоты ленты пеностекла к ее ширине было также выбрано без учета особенностей процесса вспенивания.

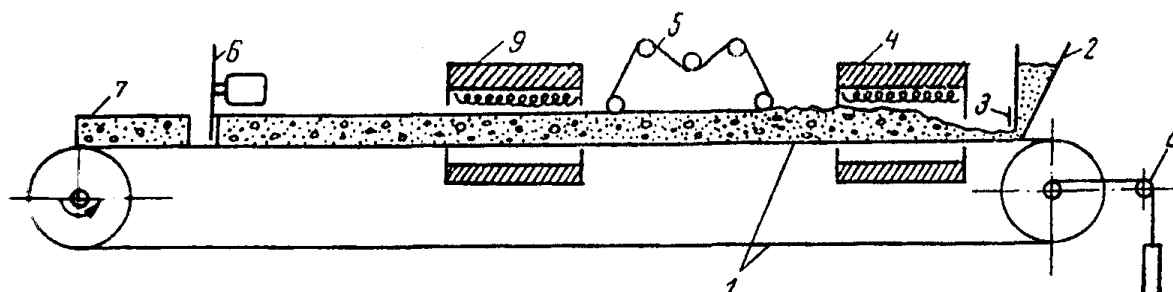


Рис. 3. Схема конвейерной установки для непрерывного вспенивания ленты пеностекла, разработанной в Государственном институте стекла СССР:
1 - стальная лента; 2 - расходный бункер; 3 - питатель; 4 - печь вспенивания электрическая; 5 - устройство для выравнивания наружной поверхности ленты пеностекла; 6 - отрезной механизм; 7 - блок пеностекла; 8 - натяжной механизм; 9 - печь отжига

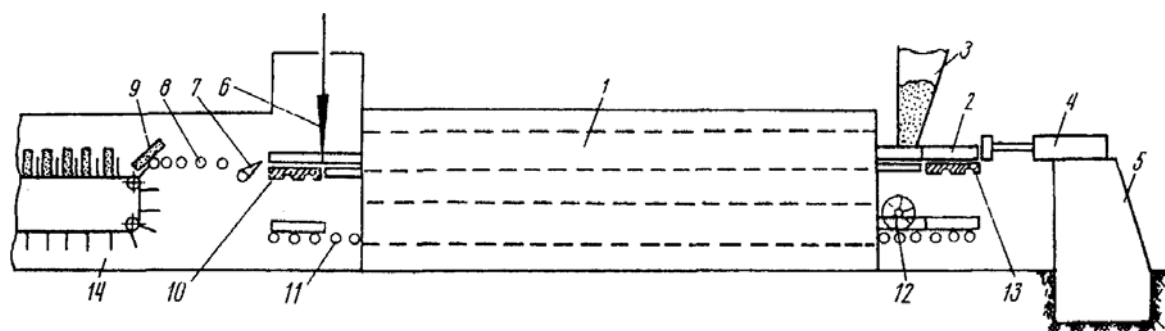


Рис. 4. Схема АУП-1:
1 - печь вспенивания; 2 - форма для вспенивания; 3 - бункер для пенообразующей смеси; 4 - толкатель форм; 5 - фундамент толкателя; 6 - отрезной механизм; 7 - механизм для отделения блока пеностекла от формы; 8 - передаточный ролик; 9 - блок пеностекла; 10 - снижатель форм; 11 - ролик для транспортировки порожних форм; 12 - механизм для зачистки форм; 13 - подъемник форм; 14 - печь отжига

Отсутствие в печи зоны стабилизации явилось, на наш взгляд, основной причиной, исключившей возможность стабилизации структуры пеностекла, что затрудняло распиловку бесконечной ленты на блоки и снятие их с поддонов. Между тем известно, что правильно стабилизированное пеностекло на этой стадии уменьшается в объеме и легко отстает от подложки.

Отмеченные нами и некоторые другие трудности, связанные в основном с неудовлетворительной работой отдельных механизмов, послужили основанием для прекращения наладочных работ по освоению вполне прогрессивной по замыслу технологической линии.

Изучение общего состояния заводской технологии и систематизация полученных данных показали, что освоенная ранее в СССР технология производства пеностекла за последние годы существенно не изменилась. Широкое распространение получил одностадийный способ производства пеностекла в туннельных печах с многоярусной садкой форм.

Выводы

Обобщение результатов натурных исследований показало, что на конечные свойства пеностекла оказывают влияние технологические параметры подготовки пенообразующих смесей, их состав и физико-химические свойства, определяемые условиями синтеза, теплообмен

в дисперсной среде, пиропластическом спеке и пеностекле на различных стадиях его формирования, динамика фазовых превращений, обуславливаемая изменением реологических свойств расплава и его кристаллизацией, реакции взаимодействия между газообразователями и компонентами стекла, условия стабилизации структуры и отжига пеностекла и др.

Поэтому важным вопросом при дальнейших исследованиях является разработка эффективной усовершенствованной технологии изготовления пеностекла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилл, Ф. Пеностекло [Текст] / Ф. Шилл. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1965. – 7 с.
2. Демидович, Б. К. Пеностекло [Текст] / Б. К. Демидович. – М.: Изд-во «Наука и техника», 1975. – 19 с.

Поступила в редколлегию 14.01.2010.

Принята к печати 18.01.2010.

ПРИМЕНЕНИЕ АССОЦИИРОВАННЫХ МАТРИЦ К РАСЧЕТУ КОЛЕБАНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПЛАСТИН

Отримано асоційовані матриці та розроблено методику їх застосування у розрахунку коливань нерозрізних пластин з неперервним розподіленням мас і різними граничними умовами. Наведено також рішення щодо власних коливань ортотропної плити з урахуванням інерції обертання, зсувів та поздовжніх сил.

Получены ассоциированные матрицы и разработана методика их применения к расчету колебаний неразрезных пластин с непрерывным распределением масс и различными граничными условиями. Приведены также решения для собственных колебаний ортотропной плиты с учетом инерции вращения, сдвигов и продольных сил.

The associated matrices are obtained and the technique of their application for calculation of continuous plate vibration with continuous distribution of mass and various boundary conditions is developed. The solutions for free vibrations of orthotropic plate taking into account the rotation inertia, shears and longitudinal forces are also presented.

Неразрезные плиты и пластины входят в состав многих инженерных и технических сооружений. В частности, можно отметить их использование при моделировании пролетных строений мостов и элементов корпусных судовых конструкций. В данной работе исследуются поперечные колебания прямоугольных жестких пластин или тонких плит при условии малости прогиба по отношению к толщине с использованием обычно вводимых при этом допущений [1, 2]. Расчет таких систем будем проводить с помощью метода начальных параметров и ассоциированных матриц [3], а построение уравнений частот – с использованием теории конечных автоматов и элементов математической логики [4].

Введем прямоугольную систему координат xuz . Оси x и u расположены в срединной плоскости пластины, ось z направлена вертикально вверх. Два противоположных края пластины (при $y=0$ и $y=l_2$) приняты шарнирно опертными или имеют скользящую заделку, другие стороны (при $x=0$ и $x=l_1$) закреплены произвольным образом.

Рассмотрим участок пластины переменной толщины в направлении оси x , ограниченный сечениями $k-1, k$, длиной l_k . Толщина пластины в пределах каждого участка считается постоянной. В общем случае сечение характеризуется компонентами линейного и углового перемещений и компонентами внутренних усилий и моментов, которые образуют вектор состояния S , включающего вектор перемещений

u и вектор усилий q . Концевые граничные параметры k -го участка p -пролетной неразрезной пластины связаны с начальными параметрами этого же участка следующим соотношением:

$$S_k = S_{k-1} B_{tk}, \quad (1)$$

где B_{tk} – транспонированная матрица влияния или переходная матрица участка пластины.

С учетом решения дифференциального уравнения собственных колебаний k -го участка пластины [3], матрицу B_{tk} представим в блочной форме:

$$B_{tk} = \begin{array}{c|c|c} \begin{array}{c} \diagdown \\ k-1 \end{array} & \begin{array}{c} \diagup \\ k \end{array} & \\ \hline u & B_{uu} & B_{uq} \\ \hline q & B_{qu} & B_{qq} \end{array} \quad (2)$$

Следует заметить, что векторы переменных в (2), записанные по вертикали и горизонтали, относятся к различным краям пластины.

Подматрицы блочной матрицы B_{tk} определяются выражениями

$$\left. \begin{array}{l} B_{uu} = \begin{bmatrix} S_1 & V_2 \\ T_3 & S_1 \end{bmatrix}; \quad B_{uq} = \begin{bmatrix} U_2 & T_2 \\ V_2 & U_2 \end{bmatrix}; \\ B_{qu} = \begin{bmatrix} U_1 & T_1 \\ V_1 & U_1 \end{bmatrix}; \quad B_{qq} = \begin{bmatrix} S_2 & V_3 \\ T_1 & S_2 \end{bmatrix} \end{array} \right\} \quad (3)$$

В состав элементов подматриц B_{tk} входят функции [3, 5]:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{\Delta^2} (a^2 \operatorname{ch} d + d^2 \cos a); \quad S_2 = \frac{1}{\Delta^2} (d^2 \operatorname{ch} d + a^2 \cos a); \quad T_1 = \frac{1}{\Delta^2} (d \operatorname{sh} d + a \sin a); \\ T_2 &= a^2 d^2 U_1; \quad T_3 = \frac{1}{\Delta^2} \left(\frac{a^2}{d} \operatorname{sh} d + \frac{d^2}{a} \sin a \right); \quad U_1 = \frac{1}{\Delta^2} (\operatorname{ch} d + \cos a); \quad U_2 = a^2 d^2 U_1; \\ V_1 &= \frac{1}{\Delta^2} \left(\frac{1}{d} \operatorname{sh} d - \frac{1}{a} \sin a \right); \quad V_2 = a^2 d^2 V_1; \quad V_3 = \frac{1}{\Delta^2} (d^3 \operatorname{sh} d - a^3 \sin a), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\Delta^2 = a^2 + d^2$; $a^2 = \lambda^2 - \beta_i^2$; $d^2 = \lambda^2 + \beta_i^2$;
 $\lambda^4 = \mu \omega^2 l^4 / D$ – частотный параметр;
 $\beta_i = l \pi i / l_2$, $i = 1, 2, 3, \dots$; $D = E h^3 / 12(1 - \nu^2)$ –
цилиндрическая жесткость пластины; E – мо-
дуль упругости; ν – коэффициент Пуассона;
 $\mu = \rho h$ – масса пластины на единицу площади;
 ρ – плотность материала; h – толщина пласти-
ны; ω – круговая частота колебаний (индекс k
опущен).

Для параметров a, d отметим следующие
зависимости:

$$a^2 + d^2 = 2\lambda^2; \quad a^2 - d^2 = -2\beta_i^2; \quad ad = \lambda^4 - \beta_i^4. \quad (5)$$

Т.к. рассматриваются только поперечные
колебания [4], то возможным состояниям пла-
стины при однородных граничных условиях
соответствуют частотные определители из ми-
норов 2-го порядка матрицы B_{tk} , которые мо-
гут быть представлены в составе ассоцииро-
ванной матрицы M_k . Выполняя многочислен-
ные функциональные преобразования и прини-
мая во внимание соотношения (5), представим
матрицу M_k в табл. 1, где каждый элемент за-
писан в порядке логического следования кодов
начальных (НП) и конечных (КП) граничных
параметров пластины. Значение $1/\Delta^4$ является
общим множителем матрицы M_k .

Таблица 1
Ассоциированная матрица M_k

КП НП	0011	0101	0110	1001	1010	1100
1100	E_1	A_3	H_2	F_2	C_3	G_4
1010	C_1	D_1	A_2	A_3	B_2	C_3
1001	F_1	C_1	E_2	G_3	A_3	F_2
0110	H_1	C_2	G_2	E_2	A_2	H_2
0101	A_1	B_1	C_2	C_1	D_1	A_3
0011	G_1	A_1	H_1	F_1	C_1	E_1

Входящие в состав ассоциированной матри-
цы M_k элементы определяются следующими
выражениями:

$$\left. \begin{aligned} A_s &= \Delta^2 (k_s \operatorname{ch} d \sin a - f_s \operatorname{sh} d \cos a); \\ A_3 &= -a^2 d^2 A_1, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $s = 1, k_1 = \frac{1}{a}, f_1 = \frac{1}{d}$; $s = 2, k_2 = -d^3$,
 $f_2 = -a^3$.

$$\left. \begin{aligned} C_s &= \Delta^2 (k_s \operatorname{ch} d \sin a + f_s \operatorname{sh} d \cos a); \\ C_3 &= -a^2 d^2 C_1, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $s = 1, k_1 = d, f_1 = a$; $s = 2, k_2 = \frac{d^2}{a}$,

$$f_2 = \frac{a^2}{d}.$$

Для функций B_1, B_2, D_1 можно записать:

$$B_1 = \frac{\Delta^4}{ad} \operatorname{sh} d \sin a; \quad B_2 = -a^2 d^2 B_1; \quad (8)$$

$$D_1 = \Delta^4 \operatorname{ch} d \cos a. \quad (9)$$

В свою очередь, функции F_1, F_2 и H_1, H_2
определяются выражениями:

$$F_1 = 2ad \operatorname{sh} d \sin a + \gamma; \quad F_2 = -a^2 d^2 F_1; \quad (10)$$

$$H_1 = \frac{\Delta^4}{ad} \operatorname{sh} d \sin a - \gamma; \quad H_2 = -a^2 d^2 H_1, \quad (11)$$

где $\gamma = (a^2 - d^2)(1 - \operatorname{ch} d \cos a)$.

Наконец, функции G_s и E_s приводятся к
виду:

$$\left. \begin{aligned} G_s &= k_s (1 - \operatorname{ch} d \cos a) + f_s \operatorname{sh} d \sin a; \\ G_3 &= -a^2 d^2 G_1; \quad G_4 = -a^2 d^2 G_3, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где $s = 1, k_1 = 2, f_1 = \frac{d}{a} - \frac{a}{d}$; $s = 2$,

$$k_2 = -2a^2 d^2, \quad f_2 = a^2 d^2 \left(\frac{d^3}{a^3} - \frac{a^3}{d^3} \right).$$

$$E_s = \gamma_s + k_s \operatorname{ch} d \cos a + f_s \operatorname{sh} d \sin a, \quad (13)$$

где $s = 1, \gamma_1 = a^4 + d^4, k_1 = 2ad$,

$$f_1 = ad(a^2 - d^2), \quad s = 2, \quad \gamma_2 = k_1, \quad k_2 = \gamma_1, \\ f_2 = f_1.$$

Таким образом, матрица M_k содержит в качестве элементов определители частот свободных колебаний одиночной пластины и характеризует 36 возможных ее состояний и комбинаций граничных условий для $x=0$ и $x=l_1$ при фиксированных закреплениях сторон при $y=0$ и $y=l_2$.

К примеру, для пластины, один край которой заделан, другой – шарнирно оперт, уравнение частот определяется непосредственно элементом матрицы M_k табл. 1 с кодами 0011/0101, удовлетворяющими граничным условиям по концам пластины (для $x=0$ и $x=l_1$):

$$\frac{1}{\Delta^2} \left(\frac{1}{a} \operatorname{ch} d \sin a - \frac{1}{d} \operatorname{sh} d \cos a \right) = 0, \quad (14)$$

$$\text{или} \quad \frac{1}{a} \operatorname{tg} a - \frac{1}{d} \operatorname{th} d = 0. \quad (15)$$

Для пластины, у которой два противоположных края заделаны (коды 0011/0011), а два других – шарнирно оперты, уравнение частот примет вид:

$$\frac{1}{\Delta^4} \left[2(1 - \operatorname{ch} d \cos a) - \frac{a^2 - d^2}{ad} \operatorname{sh} d \sin a \right] = 0, \quad (16)$$

или для симметричных и кососимметричных форм колебаний

$$\left(d \operatorname{th} \frac{d}{2} + a \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right) \left(d \operatorname{cth} \frac{d}{2} - a \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \right) = 0. \quad (17)$$

Уравнения (14) – (17) в точности совпадают с решениями, приведенными в работах [2, 5].

Другие возможные состояния пластины, определяемые комбинациями граничных условий из трех произвольных или фиксированных и, соответственно, одним фиксированным или произвольным НП и КП (всего 16 состояний), будут характеризоваться частотными определителями из миноров 3-го порядка матрицы B_{tk} . Анализируя все полученные миноры, можно прийти к выводу, что каждый из них тождественен определенному элементу матрицы влияния, построенной по технической теории изгибных колебаний. Это же свойство характерно и для миноров 1-го порядка матрицы B_{tk} . Располагая элементы матрицы (2) в соответствии с кодами НП/КП, получим ассоциированную матрицу R_k (табл. 2) с функциями (4).

Таблица 2

Ассоциированная матрица R_k

КП \ НП	0111 0001	1011 0010	1101 0100	1110 1000
1000 1110	$S_1(\lambda)$	$V_2(\lambda)$	$U_2(\lambda)$	$T_2(\lambda)$
0100 1101	$T_3(\lambda)$	$S_1(\lambda)$	$V_2(\lambda)$	$U_2(\lambda)$
0010 1011	$U_1(\lambda)$	$T_1(\lambda)$	$S_2(\lambda)$	$V_3(\lambda)$
0001 0111	$V_1(\lambda)$	$U_1(\lambda)$	$T_1(\lambda)$	$S_2(\lambda)$

Для p -пролетной неразрезной пластины переменной толщины в направлении оси x уравнение частот можно выразить в виде последовательного произведения ассоциированных матриц [6] каждого из p участков системы

$$V_1 \prod_{k=2}^{p-1} M_k \tilde{V}_p = 0, \quad (18)$$

где V_1 и $\tilde{V}_p$ – матрица-строка и матрица-столбец 1-го и p -го участков.

Для простых случаев нет необходимости в построении таблиц переходов автомата, достаточно воспользоваться только анализом графа системы. К примеру, если в сечениях пластины $1, 2, \dots, p-1$ (вдоль оси y) поставлены абсолютно жесткие опоры, то подграф k -го участка пластины примет вид, как на рис. 1.

Несложно заметить, что в каждом сечении между участками пластины возможны два варианта граничных условий и, следовательно, четыре состояния любого из подавтоматов $A_2, A_3, \dots, A_{p-1}$. Топологический код k -го подавтомата можно представить квадратной матрицей кодов второго порядка

$$C(G_k) = \|\sigma_k\|_1^2, \quad (19)$$

где $\sigma_{11} = [0101/0011]$, $\sigma_{12} = [0101/0101]$, $\sigma_{21} = [0011/0011]$, $\sigma_{22} = [0011/0101]$.

Соответствующая ассоциированная матрица M'_k с учетом кодов σ_k (табл. 1)

$$M'_k = \begin{array}{c|cc} \begin{array}{c} \text{КП} \\ \text{НП} \end{array} & \begin{array}{c} 0011 \\ 0101 \end{array} & \begin{array}{c} 0101 \\ 0011 \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} 0101 \\ 0011 \end{array} & \begin{array}{c} A_1(\lambda_k) \\ G_1(\lambda_k) \end{array} & \begin{array}{c} B_1(\lambda_k) \\ A_1(\lambda_k) \end{array} \end{array} \cdot \frac{1}{\Delta_k^4}. \quad (20)$$

В зависимости от условий закрепления первого и последнего участков пластины опреде-

ляются функции векторов V_1 и $\tilde{V}_p$ в уравнении (18). К примеру, если левый край пластины (при $x=0$) заделан $\sigma_1 = \{0011/0011 \ 0011/0101\}$,

а правый (при $x = \sum_{k=1}^p l_k$) – свободен

$\sigma_p = \{0101/1100 \ 0011/1100\}$, то

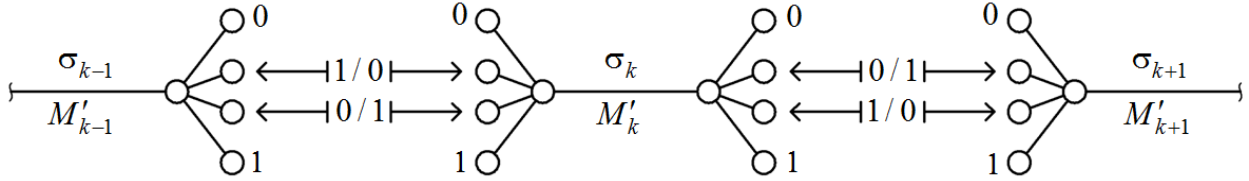


Рис. 1. Подграф k -го участка неразрезной пластины на жестких опорах

Предположим, что в k -м сечении пластины размещены упругие опоры (ребро жесткости) относительно поперечных перемещений жесткостью c_k , отнесенной к единице длины сечения, а также равномерно распределенная по сечению сосредоточенная масса интенсивностью m_k . В этом случае решения будут аналогичными полученным для балок, имеющих сосредоточенные включения в распределенные параметры [6]. Так, выражение для ассоциированной матрицы участка пластины Y_k^c , учитывающей наличие упругих опор на левом крае, с учетом обозначений [6] можно представить в виде:

$$Y_k^c = M_k + \tilde{c}_k M_k^c, \quad (22)$$

где $M_k^c = M_{0101}^{(1)} + M_{0011}^{(2)}$; $\tilde{c}_k = c_k - m_k \omega^2$.

Для участка пластины с упругими опорами относительно поворота сечения жесткостью q_k матрица Y_k^q преобразуется к виду:

$$Y_k^q = M_k + \tilde{q}_k M_k^q, \quad (23)$$

где $M_k^q = M_{1010}^{(1)} + M_{0011}^{(5)}$; $\tilde{q}_k = q_k - J_{km} \omega^2$.

Соответствующая матрица Y_k^{cq} для участка пластины с опорами, упругими относительно поперечных и угловых перемещений, и равномерно распределенной по сечению сосредоточенной массы на левом конце имеет вид:

$$Y_k^{cq} = M_k + \tilde{c}_k M_k^c + \tilde{q}_k M_k^q + \tilde{c}_k \tilde{q}_k M_k^{cq}, \quad (24)$$

где $M_k^{cq} = M_{0011}^{(1)}$.

Тот же результат получим путем раскрытия миноров второго порядка матрицы R_k^{cq} , элементы которой также используются в расчетах

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{\Delta_1^4} \left\| G_1(\lambda_1) \ A_1(\lambda_1) \right\|; \\ \tilde{V}_p &= \frac{1}{\Delta_p^4} \left\| A_3(\lambda_p) \right\| \\ &\quad \left\| E_1(\lambda_p) \right\|. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

вынужденных колебаний и построении форм собственных колебаний неразрезных плит [7]

$$R_k^{cq} = R_k + \tilde{c}_k R_{0001}^{(1)} + \tilde{q}_k R_{0010}^{(2)}, \quad (25)$$

где R_k – ассоциированная матрица четвертого порядка обычного участка пластины (табл. 2); $R_{0001}^{(1)} = R_{1110}^{(1)}$; $R_{0010}^{(2)} = R_{1011}^{(2)}$.

В целом, когда имеются сосредоточенные включения различных типов [6], ассоциированные матрицы участков могут быть получены, пользуясь принципом наложения. При этом уравнения частот, которые описывают ту или иную систему, будут иметь один и тот же вид (18). Для более сложных случаев необходимо составлять таблицы переходов с кодами НП, КП каждого участка пластины.

Здесь же рассмотрим собственные колебания ортотропной плиты с учетом инерции вращения, сдвигов и продольных сил. Используем решения [8] для системы шарнирно опертых пересекающихся балок на сплошном упругом основании:

$$\frac{\sigma_1 + 2\beta_1^2 q_1}{\lambda_{1i}^4 \sigma_1 + 2\beta_1^2 v_1 - \beta_1^4} + \frac{B_2}{B_1} \left[\frac{\sigma_2 + 2\beta_2^2 q_2}{\lambda_{2j}^4 \sigma_2 + 2\beta_2^2 v_2 - \beta_2^4} \right] = 0, \quad (26)$$

где $B_1 = l_1^3 / E_1 J_1$, $B_2 = l_2^3 / E_2 J_2$ – коэффициенты, характеризующие жесткости продольных и поперечных балок.

Представим систему взаимно перпендикулярных регулярных балок [8] как набор взаимно ортогональных балочек-полосок прямоугольного сечения высотой h , связанных между собой распределенными упругими связями в виде обычного Винклеровского основания. Частотный параметр λ_{se}^4 содержит, кроме ко-

эффициента толкающей связи $\mu_s \omega_{ij}^2$, возникающей от сил инерции при свободных колебаниях, еще коэффициент k_n упругого основания [9], который принимает тот или иной знак в зависимости от того, какое из направлений балок будет поддерживающим по отношению к балкам другого направления.

После перехода от жесткости балки при изгибе к цилиндрической жесткости пластины $D_s = E_s h^3/12(1-\nu'_1\nu'_2)$, а также с учетом, что $\mu_s = h\rho/2$, $l_2 = l_1 = l$, уравнение (26) при $\sigma_s = 1$, $\nu_s = 0$, $q_s = 0$ примет вид:

$$\frac{\beta_j^4 - \frac{h\rho\omega_{ij}^2 l_1^4}{2D_2} + \beta_{li}^2 \beta_{2j}^2 \frac{D_3 l_1^4}{D_2}}{\frac{h\rho\omega_{ij}^2 l_2^4}{2D_1} - \beta_{li}^2 \beta_{2j}^2 \frac{D_3 l_2^4}{D_1} - \beta_i^4} = \frac{B_2}{B_1}, \quad (27)$$

где ν'_1 , ν'_2 – коэффициенты Пуассона в осевых направлениях плиты, ρ – плотность материала плиты, $D_3 = D_1\nu'_2 + 2D_k$, $D_k = Gh^3/12$, G – модуль упругости при сдвиге, $\beta_{li} = \pi i/ml$; $\beta_{2j} = \pi j/nl$.

Решая уравнение (27) относительно ω_{ij}^2 , приходим к известному результату [9] для собственных колебаний ортотропной плиты

$$\omega_{ij}^2 = \frac{1}{\rho h} (\beta_{li}^4 D_1 + 2\beta_{li}^2 \beta_{2j}^2 D_3 + \beta_{2j}^4 D_2). \quad (28)$$

Если в срединной плоскости плиты действуют продольные силы, то

$$\omega_{ij}^2 = \frac{1}{\rho h} \left[\beta_{li}^4 D_1 + \beta_{2j}^4 D_2 + \beta_{li}^2 (\beta_{2j}^2 D_3 \pm N_1) + \beta_{2j}^2 (\beta_{li}^2 D_3 \pm N_2) \right]. \quad (29)$$

Аналогичным образом из уравнения (26) получим выражения (30), (31) для определения круговой частоты ω_{ij} с учетом, соответственно:

- инерции вращения

$$\omega_{ij}^2 = \frac{1}{\rho h} \left[\frac{\beta_{li}^4 D_1 + \beta_{2i}^4 D_2}{1 + \frac{r^2}{2} (\beta_{li}^2 + \beta_{2j}^2)} + 2\beta_{li}^2 \beta_{2j}^2 D_3 \right]; \quad (30)$$

- деформации сдвига

$$\omega_{ij}^2 = \frac{1}{\rho h} \left[\frac{\beta_{li}^4 D_1}{1 + \beta_{li}^2 \frac{D_1 k h^2}{12 D_k}} + \frac{\beta_{2i}^4 D_2}{1 + \beta_{2j}^2 \frac{D_2 k h^2}{12 D_k}} + 2\beta_{li}^2 \beta_{2j}^2 D_3 \right], \quad (31)$$

где k – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения.

Т.к. приведенные результаты получены путем предельного перехода для двух систем взаимно перпендикулярных балочек-полосок, то можно с помощью такого же подхода решить и некоторые другие частные задачи комбинаций неразрезных балок: плит, подкрепленных регулярной сеткой ребер, неразрезных плит или пакетов плит, соединенных между собой равножесткими линейно-упругими безынерционными связями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коренев, Б. Г. Справочник по динамике сооружений [Текст] / Б. Г. Коренев, И. М. Рабинович. – М.: Стройздат, 1972. – 511 с.
2. Справочник по строительной механике корабля [Текст]: в 3 т. / под ред. Г. В. Бойцова. – Л.: Судостроение, 1982. – 320 с.
3. Ивович, В. А. Переходные матрицы в динамике упругих систем [Текст] : справ. / В. А. Ивович. – М.: Машиностроение, 1981. – 183 с.
4. Распопов, А. С. Конечно-автоматное моделирование пространственных колебаний стержневых и балочных конструкций [Текст] / А. С. Распопов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – Д. Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 125-133.
5. Новацкий, В. Динамика сооружений [Текст] / В. Новацкий. – М.: Гостройиздат, 1963. – 376 с.
6. Распопов, О. С. Поперечні коливання континуально-дискретних балок на суцільній пружній основі [Текст] / О. С. Распопов // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій : зб. наук. пр. / Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України. – 2008. – Вип. 10. – С. 183-193.
7. Распопов, О. С. Особливості моделювання вимушених коливань нерозрізних конструкцій в системі скінчених автоматів [Текст] / О. С. Распопов // Дороги і мости : зб. наук. пр. – К.: ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 8. – С. 229-236.
8. Распопов, А. С. К расчету поперечных колебаний пересекающихся балок с распределенными параметрами [Текст] / А. С. Распопов // Вопросы динамики мостов и теории колебаний: Межвуз. сб. науч. тр. – Д.: ДИИТ, 1993. – С. 90-94.
9. Варвак, П. М. Справочник по теории упругости [Текст] / П. М. Варвак, А. Ф. Рябов. – К.: Будівельник, 1971. – 418 с.

Поступила в редколлегию 11.01.2010.
Принята к печати 20.01.2010.

Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО, Л. С. САВИН, В. Н. МАКАРОВА, П. А. ПШИНЬКО,
Д. В. КОНОНОВ (ПГАСА, Днепропетровск)

СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ В СИСТЕМЕ «СТЕКЛО – СТАЛЬ»

Наведено структурно-логічну схему виробництва корозійностійких виробів в системі «скло – сталь».

Приведена структурно-логическая схема производства коррозионностойких изделий в системе «стекло – сталь».

The structural-and-logical scheme of making the corrosion-resistant products in the “glass – steel” system is presented.

Современное производство изделий, защищенных стекловидным покрытием, предусматривает большое количество технологических операций, которые различаются в зависимости от типа и состава стального субстрата, способов его предварительной обработки поверхности, нанесения и обжига покрытий, вида и на-

значения продукции (архитектурно-строительные детали, санитарно-технические изделия, химическая аппаратура, трубопроводы, бытовая техника, хозяйственная посуда и др.).

Эти операции укладываются в следующую обобщенную схему (рис. 1).

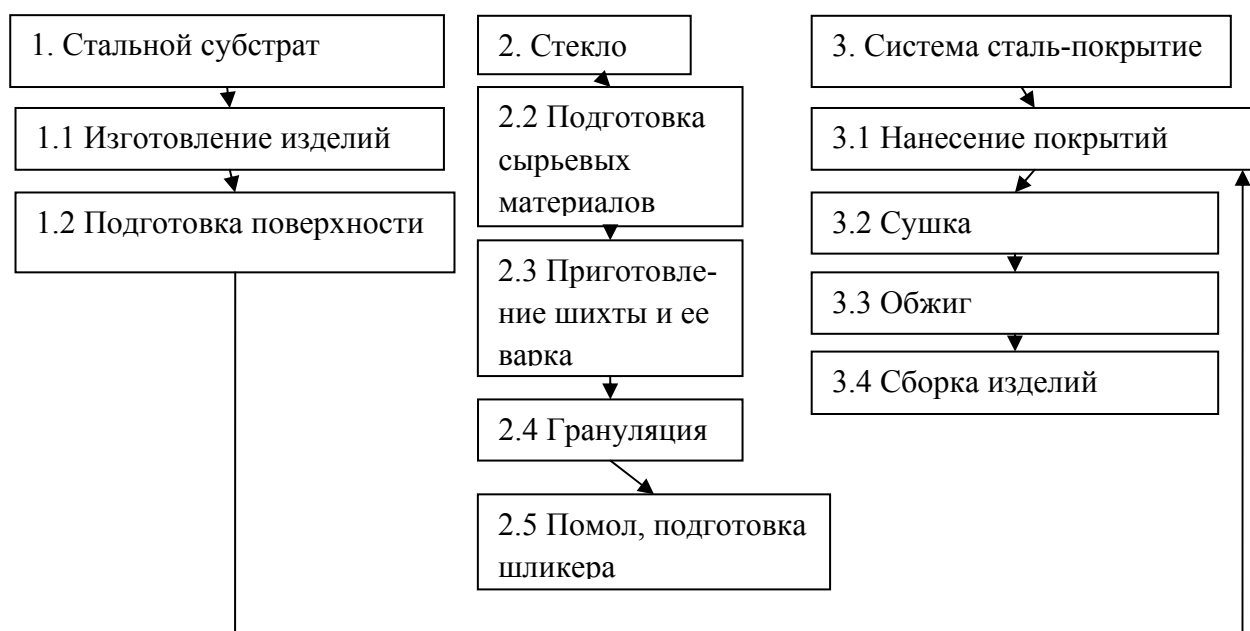


Рис. 1. Технологическая схема производства стальных изделий со стеклопокрытием

Существующие технологии включают многослойное, многообжигаемое, а также двухслойное однообжигаемое и однослойное однообжигаемое стеклообразование на стальной подложке. Детально технологические особенности каждого способа применительно к конкретным изделиям приведены в различных источниках [1]. При этом наибольшее разнообразие способов формирования защитного стеклопокрытия относится к стальным изделиям, где

необходимо обеспечить гарантированный длительный срок службы изделий в условиях одновременного действия нескольких факторов: агрессивная среда, давление, знакопеременное температурное воздействие и др.

Изготовление изделий из защищенного стеклом стального субстрата в строительстве обусловлено рядом ценных свойств, которые отличают эти изделия от прочих защитных покрытий: возможностью получения разнообраз-

ных окрасок и текстуры поверхности; стойкостью защищенной поверхности под воздействием атмосферы и солнечных лучей; высокой коррозионной устойчивостью; малым весом; легкостью и быстротой монтажа; огнестойкостью; механизацией изготовления деталей при серийно-массовом производстве [2]. Известны такие виды применения листового стального субстрата: в качестве облицовочных плит и панелей, в качестве оболочки стеновых блоков-панелей и в качестве тонкого рулонного металла, покрытого слоем стекла.

Общим для этих видов стеклозащитных изделий является геометрия плоских поверхностей или с незначительным рифлением, выштамповкой и тому подобными отклонениями от плоскости, повышающими жесткость изделия и придающие разнообразие геометрическим формам, имеющих различного типа отбортовку. Толщина стального листа может быть различной: 0,45...2,0 мм – из него первоначально вырубает заготовку, а затем в один-два приема методом штампования формируют черновую заготовку. Подготовка поверхности черновых деталей ведется химическим обезжи-

ванием, травлением и нейтрализацией [1].

Стекло для строительно-архитектурных деталей должно обеспечить высокую химическую устойчивость покрытия в условиях длительных воздействий атмосферы, агрессивных сред с сохранением защитных характеристик и стабильностью окраски. В производстве стальных архитектурно-строительных деталей используют титановые стекла, а для ярких цветов – галогенсодержащие, с добавками пигментов на помол. Для создания декоративных эффектов на строительных панелях и плитах, защищенных стеклом, используют композиции не только разных цветов, но и различной текстуры поверхности с различной степенью блеска.

Для этого при приготовлении шликера вводят тугоплавкие добавки (тонкоизмельченный кварцевый песок, глинозем, диоксиды титана, циркония).

Качественно сформированное покрытие на основе стекла обеспечивает долговечность архитектурно-строительных деталей и их преимущества, например, по сравнению с лакокрасочными покрытиями [2]. Сравнительная характеристика покрытий приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика покрытий

Вид испытания	Характеристика покрытий	
	Стекловидное	Лакокрасочное
Термоудар от минус 10 до плюс 80 °С	Нет дефектов после 24 часов	Имеются трещины после 24 часов
Твердость по шкале Мооса	6	2
Абразивоустойчивость после 150 циклов	2,1 г/м ²	3,4 г/м ²
Стойкость к холодной кислоте, ISO2722	Класс А	Класс АА
Стойкость к горячей кислоте, ISO2742	2,9 г/м ²	3,6 г/м ²
Стойкость к истиранию	Стойкое	Не противостоит очищающим средствам

Особо актуальна разработка подклассов стекол, содержащих галогенсоединения, находящиеся в материалах техногенного происхождения. Это обеспечивает расширение сырьевой базы для защитных стеклопокрытий с улучшенными физико-химическими показателями. В связи с этим изучены технологические регламенты в производстве редких металлов, их отходообразование и синтез стекол для защитных покрытий по стальному тонколистовому субстрату [7].

Стекломатрица для защитного покрытия по стальной подложке характеризуется сложным химическим составом, аморфно-неравновесным состоянием. Для стекол характерно наличие ближнего порядка, где расположение анионов (O^{2-} , F^- , Cl^-) находится в составах группировок $[SiO_4]^{4+}$, $[SiO_3Cl_2]$. При этом вещества в стеклообразном состоянии характеризуются изотропностью свойств. Для галогенсодержащих стекол характерно пребывание хлора в различных степенях окисления (Cl^- , Cl^{7+}). Соединения с

высокими степенями окисления хлора образуются в условиях металлургических производств по хлорной технологии, например, на титано-магниевого, горно-обогатительных и горно-металлургических комбинатах.

Стекло для защитного покрытия по стали должно иметь мезодесмическую структуру, т.к. оно относится к классу силикатов и боратов. Эта структура характеризуется полимерным характером и возникает при $Z_b/K_b = 1$, где Z_b – заряд (валентность) центрального катиона; K_b – координационное число по кислороду, галогену. При этом следует учитывать, что хлор в группировках может выступать в различных степенях окисления от -1 до $+5$. В материалах техногенного происхождения, образующихся при получении редких металлов, содержатся гидрохлориды титана, циркония, ванадия, кальция, марганца и других элементов, вводя которые в составы шихты при варке стекол, на поверхности стали формируются высококачественные покрытия [7].

Современные технологии изготовления титановой губки из природного сырья характеризуются образованием многотоннажных отходов, которые не находят квалифицированного применения в производстве строительных изделий и, одновременно, загрязняют окружающую природную среду [3].

В работе предложен физико-химический подход по вовлечению продуктов техногенного происхождения при производстве стеклофритт, предназначенных для долговременной защиты стальных изделий от коррозии, с атмосферостойкостью и достаточной огнестойкостью.

В основу положено представление о том, что диагональная аналогия и вертикальная гомология соединений с анионами кислорода и галогенов предопределяет теоретическую основу синтеза стекол для защитных покрытий по стальной подложке.

Детально рассмотрев структурно-логическую схему формирования защитного покрытия в системе «стекло – сталь», основное физико-химическое внимание нами уделено синтезу стекол, обеспечивающих качественное формирование защитных покрытий на изделиях из стального субстрата.

Задачами исследования явилось изучение особенностей стеклообразного состояния стеклофритт, полученных с использованием техногенных материалов в виде отходов Запорожского титано-магниевого комбината (ЗТМК), Вольногорского горно-металлургического комбината (ВГМК).

Согласно современным физико-химическим представлениям, стеклообразное состояние – это аморфное неравновесное состояние, образующееся в результате переохлаждения жидкости или повышения воздействия на нее давления. Стеклообразное состояние, являясь метастабильным, отличается от кристаллического избытком внутренней энергии. Пространственное распределение частиц вещества в стеклообразном состоянии является неупорядоченным. Особенностью структуры стекол является наличие лишь ближнего порядка, который в случае оксидных стекол (к ним относится большинство стеклофритт) характеризует расположение анионов кислорода, галогенов относительно катионов, например, в группировках $[\text{SiO}_4]^{4-}$ или $[\text{SiO}_3\text{Г}]^{3-}$. Из-за отсутствия как дальнего порядка, так и правильной кристаллической решетки вещества в стеклообразном состоянии характеризуется изотропностью свойств. К специфическим свойствам стекол относится отсутствие определенной температуры затвердевания или плавления. При этом стекла, образующиеся из оксидных соединений типа $A_mB_nO_x$, имеют изо-, анизо- и мезодесмические структуры. Их отличают соотношения Z_b – заряда (валентности) центрального катиона B и K_b – его координационного числа по аниону. Соотношение Z_b/K_b отражает прочность электрической связи « B -анион». При $Z_b/K_b < 1$ формируется изодимическая структура; при $Z_b/K_b > 1$ – анизодимическая, а при $Z_b/K_b = 1$ образуется мезодимическая структура (силикаты, германаты, бораты), для которой характерно полимерное строение. При оценке склонности к стеклообразованию материалов принято учитывать кристаллохимические представления о строении и структуре стекол по Захариасену и атомные характеристики катионов и анионов по Дитцелю [4]. Стекла, предназначенные для защиты стального субстрата, содержат большое число компонентов, включающих стеклообразователи (B^{3+} , Si^{4+} , Ge^{4+}), модификаторы (Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}) и стеклообразователи-модификаторы (Al^{3+} , Ti^{4+} , Zr^{4+}). Многочисленные промышленные составы стекол для защиты стали синтезированы на основе стеклообразователей, модификаторов и образуют сложные системы щелочеалюмосиликатного характера. Специфические свойства стеклообразным структурам придает наличие в их составах нескольких анионов: кислорода, фтора и хлора [5]. Совместное наличие стеклообразователей, модификаторов и нескольких анионов придает стеклообразным ма-

териалам ряд физико-химических свойств: кристаллизационную способность, вязкость, поверхностное натяжение, смачивающуюся способность, коррозионную активность расплавов, которая обуславливает интенсивность процессов взаимодействия в системах «сталь – стекло – покрытие». По А. А. Аппену [6], закрепление расплавленного стекла на стальном субстрате имеет электрохимическую природу, где общая реакция взаимодействия расплава со сталью подразделяется на две стадии: окисление-восстановление и локальная дифференциация окислительных (анодных участков) и восстановительных (катодных) процессов. При этом сталь окисляется, а компоненты расплавов стекол восстанавливаются. К типичным окислителям по отношению к стали и расплавам являются соединения VI и VII групп Периодической системы элементов (O, F, Cl, S); катионы d -элементов (Ti, Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zr^{4+} и др.), а также катионы Me^+ , Me^{2+} . Физико-химической особенностью аниона хлора является то, что он может быть в состоянии одновалентного аниона (Cl^-) и положительно пятивалентного (ClO_3^-). Последнее характерно для побочных материалов, образующихся при производстве титана методом хлорной металлургии.

О преимуществах стекловидных покрытий по стали

Синтезированные стекловидные защитные покрытия по стальному субстрату обладают рядом преимуществ перед другими антикоррозионными покрытиями: значительной коррозионной стойкостью к растворам кислот, щелочей и солей при относительно высокой температуре; неизменностью эксплуатационных свойств на протяжении десятков лет; полным отсутствием склонности к старению; зеркальной гладкостью поверхности, обуславливающей весьма низкий коэффициент трения и отсутствие адгезии к ней высоковязких полимерных веществ и твердых выделений из нефтепродуктов; легкостью очистки; высокой гигиеничностью; повышенной прочностью на истирание; стойкостью к воздействию атмосферы; пожарной безопасностью и огнестойкостью [7].

Специфические свойства стеклозащитных покрытий обусловили применение стального субстрата при производстве архитектурно-строительных изделий для наружной и внутренней облицовки зданий, туннелей и станций метрополитена и вокзала, трубопроводов для транспортировки химических продуктов, нефти

и газа, мелиорации, промышленного и коммунального водо- и теплоснабжения, газовых и электроплит, нагревательной аппаратуры, холодильников, стиральных и посудомоечных машин, санитарно-технических изделий и др.

В условиях рыночной экономики исключительно важным является выпуск конкурентоспособной продукции, обладающей высоким уровнем технико-эксплуатационных характеристик и эстетико-потребительских свойств.

В связи с этим в Украине и во всем мире актуальны такие проблемы: применение новых материалов при производстве специальных стекол; разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий для композиций «стекло – сталь»; освоение принципиально новых способов химической подготовки поверхности металлов перед нанесением защитных покрытий из фриттованного стекла.

Основой для стеклозащитных покрытий по стали являются щелочноалюмоборсиликатные композиции. Добавки других соединений придают им требуемые свойства. По структуре стекловидные покрытия подразделяются на стеклообразные и стеклокристаллические, по основным функциям делятся на грунтовые, покровные, безгрунтовые, бортовые и декоративные. Грунтовое стекло представляет собой промежуточный слой между металлом и покровной составляющей. Грунт обеспечивает прочное соединение этих различных по природе материалов. Для обеспечения прочного сцепления со стальной подложкой в грунт вводят оксиды кобальта, никеля, соединения металлов переменной валентности CuO , MoO , Mn_2O_3 и др. Покровные стекла предназначены для придания покрытию требуемых потребительских и декоративных свойств. По составу покровные стекла бывают титановые, галогенсодержащие, циркониевые; по свойствам – белые, цветные, прозрачные, химически стойкие, термостойкие, износоустойчивые. Для приготовления грунтов и покровных стекол используют оксиды – стеклообразователи, модификаторы, глушители, красители, оксиды сцепления. Актуальной проблемой при выплавке грунтовых и покровных стекол является квалифицированное вовлечение гидрооксохлоридов титана, железа, циркония, кальция, марганца, которые содержатся в продуктах техногенного происхождения при производстве редких металлов способом хлорной металлургии. Обобщенный химический состав указанных материалов может быть представлен данными табл. 2.

**Химический состав продуктов техногенного происхождения
(отходы ЗТМК, ВГМК, ПО «Крымский титан»)**

Техногенные отходы	Содержание, мас. %						
	Ti	Ca	Fe	Mn	V	Гидрооксохлориды кремния, ванадия, молибдена, алюминия	Гидрооксо-сульфаты титана, алюминия, циркония, ванадия, железа
ЗТМК	2,1...3,7	16,2...17,8	3,4...4,1	1,2...2,1	0,2...0,4	остальное до 100 мас. %	-
ВГМК	0,9...1,1	10,2...11,4	2,4...2,7	2,4...2,7	0,1...0,2	остальное до 100 мас. %	-
ПО «Крымский титан»	1,2...1,7	11,4...12,5	1,9...2,1	1,9...2,1	0,1...0,3	-	остальное до 100 мас. %

Техногенные отходы ЗТМК, ВГМК и Государственного производственного объединения «Крымский титан» ежедневно многотоннажны (до 1200 т), а в период с 1990 до 2008 г. их наполнилось в отходохранилищах до 5 млн т. Как видно из табл. 2, продукты техногенного происхождения содержат ценные соединения и группировки атомов. Однако до наших исследований они не использовались в производстве строительных материалов, изделий и конструкций. Предложенные нами химико-технологический подход и технология их использования для защиты изделий из стального субстрата стекловидными покрытиями [8, 9, 10] свидетельствуют о долговечности, коррозионной устойчивости, огнестойкости и износоустойчивости деталей и конструкций из стального тонколистового проката, защищенного стекловидным покрытием.

Таким образом, коррозионная активность стекловидных расплавов определяет их способность взаимодействия с твердой фазой стальной подложки с образованием продуктов реакции в виде сцепляющегося слоя на границе «сталь – стекло». Добавка хлорсодержащих соединений, находящихся в продуктах техногенного происхождения, увеличивает в стекловидном расплаве долю закисных соединений железа с понижением основности стекла из-за меньшей поляризуемости ионов хлора по сравнению с анионами кислорода [7]. В конечном итоге, вовлечение в химические составы хлорсодержащих соединений титана, циркония, железа, марганца определяет качество защитного покрытия стального субстрата стекловидными композициями. Испытание защитных покрытий выявило высокую огнестойкость (до 700 °С); кислотоустойчивость (до 0,01 мг/дм²), а также щелочестойкость (до 0,015 мг/дм²).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология эмали и эмалирования металлов [Текст] / под ред. В. В. Варгина. – М.: Стройиздат, 1965.
2. Технология эмали и защитных покрытий [Текст] : учеб. пособие / под ред. Л. Л. Брагиной, А. П. Зубехина. – Х.: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003.
3. Байбеков, М. К. Производство четыреххлористого титана [Текст] / М. К. Байбеков. – М.: Металлургия, 1982.
4. Петцольд, А. Эмаль и эмалирование [Текст] : справ. изд. / А. Петцольд, Г. Пешман. – М.: Металлургия, 1990.
5. Боуше, В. Эмали и их использование для противокоррозионной защиты [Текст] : [пер. с чешск.] / В. Боуше, А. Крайна, А. Моравчик. – № 310/927. – М., 1962.
6. Аппен, А. А. Химия стекла [Текст] / А. А. Аппен. – Л.: Химия, 1976.
7. Эмалирование: фритта, подготовка поверхности, охрана окружающей среды [Текст] : монография / Л. С. Савин [и др.]. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2008.
8. Савин, Ю. Л. Физико-химические основы разработки эффективных теплоизоляционных материалов. Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве [Текст] / Ю. Л. Савин // Строительство : сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 3. – Д.: Арт-Пресс, 1998. – С. 22-25.
9. Савин, Л. С. Влияние побочных продуктов титаново-магниевого производства на физико-химические свойства эмалевого шликера [Текст] / Л. С. Савин, А. П. Приходько, Ю. Л. Савин // Будівництво : зб. наук. пр. – Вип. 10. – Д., 2002. – С. 3-7.
10. Савин, Л. С. Использование отходов титаново-магниевого производства в качестве шликерообразующих добавок [Текст] / Л. С. Савин, А. П. Приходько, Ю. Л. Савин // Будівництво : зб. наук. пр. – Вип. 11. – Д., 2002. – С. 12-15.

Поступила в редколлегию 07.12.2009.

Принята к печати 29.12.2009.

УТОЧНЕННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦІЄЇ СИСТЕМИ

Стаття присвячена дослідженню вимог щодо удосконалення системи управління Держспецтрансслужби та показників її оцінювання і ефективності під час технічного прикриття транспортної мережі.

Статья посвящена исследованию требований по усовершенствованию системы управления Госспецтрансслужбой и показателей её оценки и эффективности во время технического прикрития транспортной сети.

The article is devoted to research of requirements on the improvement of management system of the State Special Service of Transport and indices of its evaluation and efficiency during the technical protection of a transport network

Під час оцінювання працездатності органів управління системний підхід об'єктивно необхідний, тому що результат управління – ступінь реалізації штатних можливостей підлеглих частин і підрозділів – залежить від спільної роботи суміжних органів управління. Отже, у системі управління двох рівнів непродуктивні втрати часу в підрозділах повинні бути зведені до мінімуму.

На основі створених на цей час теоретичних розробок, основними ознаками, що дозволяють розглядати управління Держспецтрансслужби як складну ієрархічну систему, є сукупність безлічі взаємозалежних підсистем і елементів, наявність загальної мети, взаємозв'язок і взаємодія підсистем і елементів у процесі функціонування об'єктів управління, динамічність і складно-передбачуване поведіння об'єкта управління в процесі функціонування розглянутої системи.

Головною проблемою в теорії управління підрозділами є оцінка ефективності систем управління (СУ). За визначенням Н. П. Бусленка [1], ефективність управління – це його «пристосованість до виконання поставлених задач». Він же прийшов до висновку, що ефективність управління найбільш повно можна оцінити сукупністю показників, кожний з яких характеризує одну з властивостей системи управління.

Заслугує на увагу визначення ефективності управління як здатності органу управління вчасно і якісно розробляти рішення, доводити їх до виконавців, оперативно контролювати процес реалізації рішень. У цьому випадку потенційні штатні можливості з'єднань, частин і підрозділів можуть бути реалізовані з найменшими втратами.

При цьому, як основний критерій ефективності приймається ступінь реалізації штатних можливостей підрозділами. Допоміжними, або

частковими, критеріями є: ступінь та величина її втрат при передачі; тривалість циклу управління та ін.

У [2] для оцінювання ефективності системи на етапі оперативного управління приймається величина вектора відхилення параметрів від заданих значень і час на переведення ситуації з небезпечного в нормальний стан. При такому підході скорочується траєкторія пошуку рішення за рахунок скорочення обсягу аналізованої інформації тільки по тих параметрах, які мають відхилення від заданих значень. При цьому зроблений обґрунтований висновок про те, що зміна величини якого-небудь показника в припустимих межах не вимагає негайного втручання. Важливо виявити тенденцію зміни, і якщо вона призводить до небезпечних наслідків, то реакція повинна бути негайною саме для зміни величини конкретного показника, що і відображено залежністю виду

$$A(t) = \{ G_i(t_k) \dots G_j(t); R_{mi}(t) \dots R_{m,n}(t) \}, \quad (1)$$

де $A(t)$ – ситуація в системі управління, зафіксована в момент часу t ;

$G_i(t_k)$ – ціль управління, необхідний кінцевий результат;

$m_i(t)$ – параметр системи, що характеризує систему в момент часу t ;

$R_{mi}(t)$ – величина відхилення параметра від норми.

У зв'язку з цим, контроль мети управління формалізується функцією виду

$$G_i(t_k) = f(R_{mi}(t)). \quad (2)$$

Вона показує, як змінюється кінцевий результат (мета системи) від величини відхилення тих або інших параметрів.

Аналіз існуючих методик кількісного оцінювання ефективності СУ показав, що в них «ефективність управління» і «ефективність системи управління» розглядаються самостійно. Однак, процес відновлення зруйнованих транспортних об'єктів підрозділами Держспецтрансслужби характерний тим, що ступінь участі СУ у процесі відновлення оцінюється рівнем реалізації потенційних можливостей підрозділів. У той же час «ефективність управління» відображає результат діяльності органу управління в управлінській підсистемі.

Орган управління будь-якого ієрархічного рівня включає ряд структурних груп, підгруп і окремих посадових осіб, ступінь впливу яких на працездатність органу управління є досить відчутною. У зв'язку з цим пропонується визначити концептуальний підхід до оцінювання працездатності органів управління у виді сукупності наступних положень:

1. Можливості органу управління будь-якого ієрархічного рівня визначаються його працездатністю і стійкістю функціонування. Остання властивість значною мірою залежить від кількості пунктів управління в цьому органі.

Працездатність органу управління залежить, певним чином, від організації дій посадових осіб та їхнього інтелектуального потенціалу, що і повинно враховуватися у відповідних методиках.

2. Працездатність органу, групи, підгрупи управління істотно залежить від професійної підготовки посадових осіб і значною мірою від рівня підготовки (відповідності займаної посади) керівника.

3. У ході виконання задач по штатному призначенню працездатність органів управління буде визначатися втратами особового складу і заповненням втрат. При цьому рівень професійної підготовки фахівців для заповнення некомплекту повинен відповідати пропонованим вимогам.

4. Працездатність суміжних ієрархічних органів управління впливає на виконання задач відновлення транспортної інфраструктури. Цей вплив проявляється через ступінь реалізації штатних (фактичних) можливостей підрозділів.

Разом з тим, рівень працездатності управління повинен бути вище, ніж підлеглих підрозділів, що забезпечує своєчасне відновлення працездатності органів управління підрозділів, які зазнали найбільших втрат.

Відповідно мети дослідження ефективність системи управління будемо розглядати як функцію працездатності органу управління.

Таким чином, показник працездатності органу управління в порівнянні з деякою його но-

рмативною (необхідною) величиною характеризує ступінь його досягнення певного рівня. Сам керуючий вплив вплине на процес відновлення транспортних об'єктів через втрати часу на очікування або виконання робіт, актуальність яких втрачена.

У зв'язку з викладеним, в якості основного оперативного критерію для оцінки працездатності органу управління можна прийняти ступінь її відповідності необхідному значенню:

$$R_k = \frac{T_{a,k} + T_{пр,k}}{T_{н,k}} \leq 1,0, \quad (3)$$

де R_k – критерій відносної працездатності пункту (органу) управління k -го рівня у дворівневій системі управління;

K – рівень системи управління;

$T_{a,k}$ – час, необхідний на аналіз вихідної інформації для ухвалення рішення;

$T_{пр,k}$ – час, необхідний на розробку й оформлення рішення;

$T_{н,k}$ – нормативний час на виконання цих

функцій для k -го рівня управління.

З означення, працездатність органу управління, групи, підгрупи є функція їх укомплектованості фахівцями і рівня кваліфікації фахівців відповідності займаним посадам). Тому

$$R_k = K_{y,k} \cdot K_{пп,k}. \quad (4)$$

Працездатність СУ залежить від ряду факторів, які визначають основні вимоги до цієї системи, а саме:

- достатній рівень укомплектування органів управління фахівцями, який відповідає потоку інформації, яка переробляється;
- достатній рівень професійної підготовки особового складу органів управління, який забезпечує своєчасне прийняття всебічно обґрунтованих рішень у складній обстановці;
- наявність необхідної кількості пунктів управління в системі управління із врахуванням їхньої можливості виходу з ладу.

У даному дослідженні розглядається вплив рівня працездатності дворівневої системи управління (рівні K та $K - 1$) на повноту виконання завдань підпорядкованими силами і засобами за такими критеріями.

1. Прогнозований стан укомплектованості органів управління протягом операції:

$$K_{ук}(K-1) = f(K_{втк}(K-1)\tau), \quad (5)$$

де $K_{\text{ук}}(K-1)$ – коефіцієнт укомплектованості органу управління рівня $K(K-1)$;

$K_{\text{втк}}(K-1)$ – коефіцієнт прогнозованих втрат фахівців складу органу управління рівня $K(K-1)$;

τ – час роботи органу управління без повнення.

2. Прогнозований рівень професійної підготовки фахівців органу управління рівня $K(K-1)$:

$$K_{\text{ппк}}(K-1) = f(K_{\text{ппгк}}(K-1)\lambda), \quad (6)$$

де $K_{\text{ппк}}(K-1)$ – рівень професійної підготовки органу управління рівня $K(K-1)$;

$K_{\text{ппгк}}(K-1)$ – рівень професійної підготовки окремих груп органу управління рівня $K(K-1)$;

λ – ваговий коефіцієнт групи в органі управління рівня $K(K-1)$.

3. Рівень працездатності органів управління:

$$R_{k(k-1)} = f(K_{\text{ук}(k-1)} K_{\text{ппк}(k-1)}), \quad (7)$$

де $R_{k(k-1)}$ – працездатність органу управління рівня $K(K-1)$.

4. Ступінь зниження виробничих можливостей військ внаслідок зниження працездатності органів управління:

$$P_{\tau} = f(R_k; R_{k-1}), \quad (8)$$

де P_{τ} – можливий ступінь зниження виробничих можливостей підрозділів на час виконання завдань внаслідок зниження рівня працездатності органів управління.

5. Допустимий рівень зниження виробничих можливостей:

$$P_{\tau\text{д}} = f(\Delta N; SW_0; K_{\text{вт}\tau}^1), \quad (9)$$

де $P_{\tau\text{д}}$ – допустимий рівень зниження виробничих можливостей;

ΔN – середньодобові обсяги відновлювальних робіт;

SW_0 – середньодобові можливості підрозділів з будівництва залізниць;

$K_{\text{вт}\tau}^1$ – коефіцієнт зниження виробничих можливостей підрозділів внаслідок втрат фахівців і техніки на об'єктах на час τ .

Обрані критерії у цьому розділі (залежності (5) – (9)) дозволяють визначити порядок фор-

мування методики оцінювання ефективності роботи органів (системи) управління. Пропонується така схема формування методики:

– визначається стан укомплектування органів управління K_y за залежністю (5);

– визначається рівень професійної підготовки органів управління $K_{\text{пп}}$ за залежністю (6);

– визначається рівень працездатності органів управління K_{τ} за залежністю (7);

– визначається ступінь зниження виробничих можливостей підрозділів внаслідок зниження рівня працездатності органів управління P_{τ} за залежністю (8);

– визначається допустимий рівень зниження виробничих можливостей підрозділів $P_{\tau\text{д}}$ за залежністю (9);

– величина P_{τ} порівнюється з величиною $P_{\tau\text{д}}$ на предмет виконання умови $P_{\tau} \leq P_{\tau\text{д}}$. Якщо умова виконується, то рівень працездатності системи управління може бути прийнятим. Якщо умова не виконується, приймаються більш високі показники рівня укомплектованості та рівня професійної підготовки (або одного з них) і розрахунки повторюються. Повторення розрахунків здійснюється, поки умова $P_{\tau} \leq P_{\tau\text{д}}$ не буде виконана.

Крім укомплектованості та рівня професійної підготовки органів управління, ефективність функціонування СУ залежить від кількості пунктів управління в цій системі.

Достатність кількості наявних пунктів управління в СУ може бути визначена за методом, який викладено у [3].

Основна ідея цього методу міститься в оцінюванні ефективності СУ як імовірності успішного виконання завдань управління певної ланки у складі K здатних до роботи пунктів управління. А саме:

$$P(K, S) = P(K) \cdot P(S), \quad (10)$$

де $P(K, S)$ – імовірність успішного виконання завдань системою управління при наявності K здатних до роботи ПУ;

$P(K)$ – імовірність того, що K пунктів управління з m наявних будуть здатні до роботи;

$P(S)$ – імовірність своєчасного вирішення завдань одним ПУ.

В свою чергу, існує залежність виду:

$$P(S) = \sum P(S/V_j) \cdot Q(V_j), \quad (11)$$

де $P(S/V_j)$ – імовірність вирішення завдань органами управління одного ПУ, який знаходиться у j -му стані;

$Q(V_j)$ – імовірність перебування кожного ПУ у j -му стані за рахунок V_j -ої події.

Величина $P(S/V_j)$ визначається як її залежність від значення математичного сподівання $M_j[T]$ випадкової величини T часу, який реально витрачається під час вирішення певної задачі управління при перебуванні ПУ в j -му стані, та від нормативного часу $T_{\text{ТР}}$ виконання цієї задачі, який встановлений відповідними документами. Величина $M_j[T]$ визначається експериментальним шляхом або методом експертних оцінок.

Величина $Q(V_j)$ визначається за такими формулами:

1. V_1 – вихід з ладу тільки органу управління (ОУ):

$$Q(V_1) = Q_A(1 - Q_B)(1 - Q_C).$$

2. V_2 – вихід з ладу тільки рухомих засобів ПУ:

$$Q(V_2) = Q_B(1 - Q_A)(1 - Q_C).$$

3. V_3 – вихід з ладу тільки ЗЗ і АЗУ:

$$Q(V_3) = Q_C(1 - Q_A)(1 - Q_B).$$

4. V_4 – вихід з ладу тільки ОУ і рухомих засобів ПУ:

$$Q(V_4) = Q_A Q_B(1 - Q_C).$$

5. V_5 – вихід з ладу тільки ОУ та ЗЗ і АЗУ:

$$Q(V_5) = Q_A Q_C(1 - Q_B).$$

6. V_6 – вихід з ладу рухомих засобів ПУ та ЗЗ і АЗУ:

$$Q(V_6) = Q_B Q_C(1 - Q_A).$$

7. V_7 – вихід з ладу усіх елементів ПУ:

$$Q(V_7) = Q_A Q_B Q_C.$$

8. V_8 – всі елементи ПУ повністю працездатні:

$$Q(V_8) = 1 - Q(A + B + C). \quad (12)$$

Тут величини Q_A , Q_B , Q_C , відповідно, виражають імовірність виходу з ладу окремих елементів пункту управління (органів управління ПУ, засобів рухомості ПУ, систем ЗЗ і АЗУ). Величини Q_A , Q_B , Q_C залежать від ряду факторів, а саме від середньодобової величини відносних втрат ОУ, засобів рухомості ПУ, а також ЗЗ і АЗУ за рахунок багатьох факторів, від середнього наробітку на відмову (за паспортними даними) засобів рухомості та ЗЗ і АЗУ. Порядок визначення цих величин наведений в науковому посібнику, який згадувався вище.

Існує також залежність виду:

$$P(K) = 1 - P_q(l) \quad (K = m - l), \quad (13)$$

де $P(K)$ – імовірність того, що з m наявних ПУ $K = m - l$ будуть здатні виконати покладені на них завдання;

$P_q(l)$ – імовірність того, що із m наявних ПУ l будуть нездатні виконати покладені на них завдання (вийдуть із ладу). Ця імовірність визначається аналогічно визначенню імовірності виходу з ладу елементів ПУ:

$$P_q(l) = C_m^l Q^l (1 - Q)^{m-l}. \quad (14)$$

Таким чином, за наявності необхідних вихідних даних ми маємо можливість розрахувати імовірність виконання завдань системою управління Держспецтрансслужби, позначеною як $P(K, S)$. Вирішивши це завдання, можна визначити необхідну кількість пунктів управління для забезпечення постійного функціонування хоча б одного пункту управління на даному рівні системи із заданим ступенем надійності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. – 255 с.
2. Обухов, А. Я. Методика оптимизации решения на восполнение некомплекта личного состава [Текст] / А. Я. Обухов // Сб. тр. ВАС. – Вып. 39. – СПб., 2000. – С. 18-24.
3. Теоретичні основи технічного забезпечення [Текст] : посібник. – К.: ЦНДІ України, 2004. – 439 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2009.

Прийнята до друку 23.12.2009.

П. Е. УВАРОВ (Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, Луганск), Т. С. КРАВЧУНОВСКАЯ (ПГАСА, Днепропетровск)

ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАДИГМЫ ПРОЕКТНОЙ СИСТЕМОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ОРГАНИЗАЦИИ РЕСУРСА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Розглянуто концептуальні принципи ретроспективного аналізу й прогнозу розвитку життєвого циклу інвестиційно-будівельної діяльності в різних економічних середовищах орієнтації суспільства.

Рассмотрены концептуальные принципы ретроспективного анализа и прогноза развития жизненного цикла инвестиционно-строительной деятельности в разных экономических средах ориентации общества.

The conceptual principles of retrospective analysis and forecast of development of a life cycle of investment-and-building activities in different economic environments of the society orientation are considered.

Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими заданиями

Анализ показал, что при определенной структурной и терминологической разобщенности подходов к обоснованию целесообразности инвестиций, все они в определенной степени базируются на методике экономической оценки эффективности инвестиционных строительных проектов (П-ОС), принятой ЮНИДО, и типовой методике определения экономической эффективности капитальных вложений [1, 4, 5, 8]. Вместе с тем отсутствие комплексного подхода к решению современных экономических задач в увязке с требованиями, предъявляемыми действующими законодательно-нормативно-правовыми актами Украины к П-ОС с учетом циклического развития и рассмотрения всего жизненного цикла проекта на пред-, инвестиционной и эксплуатационной стадиях, затрудняют практику выполнения этих обоснований [2, 7, 13, 14, 15] без мотиваций знаний эволюционного развития системы организационно-экономической подготовки и инженерного сопровождения инвестиционно-строительного производства и прогнозирования развития научных парадигм.

Поиск наиболее выгодных преобразований инвестиционно-инновационной и проектно-строительной деятельности (ИСД) требует совершенствования методов инженерно-строительного прогнозирования с учетом циклического развития и экономического анализа и оценки фактора времени в обосновании целесообразности формирования и выбора альтернатив планирования капитальных вложений, учета знаний и особенностей критериальных основ проектной системологии организации жизненных циклов как П-ОС, так и ИСД в эво-

люции больших (длинных) циклов разных формаций экономической ориентации общества: планово-директивной (административной) ориентации (ЭПДО); рыночных форм переходного периода (ЭРФОП) и рыночной экономики стран со стабильным развитием (ЭРФОС), рассматриваемых как внешнее окружение Проекта. Перспективу инновационного развития и преобразований можно искать, лишь зная эволюцию исторической ретроспективы становления и развития организационно-строительной науки с учетом циклического развития экономики от $\{\text{ЭПДО}\} \subseteq \{\text{ЭРФОП}\} \subseteq \{\text{ЭРФОС}\}$.

Анализ последних исследований и публикаций

В конце 70-х – начале 80-х годов вопросы циклического развития экономики, включая науку, технику и технологию, освещались в работах ряда зарубежных авторов, таких как Г. Менш, К. Фримен, Я. Ван Дейн, А. Кляйнкнехт, Дж. Кларк, Л. Сутэ и др.

В этих работах проводится явная ориентация на первичные исследования русского ученого Н. Д. Кондратьева, посвященные волновым (циклическим) процессам развития экономики («волны Кондратьева»). Первые существенные исследования по проблеме прогнозирования сложных объектов и инвестиционно-строительного комплекса с учетом циклического развития экономики выполнены в конце 80-х годов Ю. В. Яковцом и Е. Г. Яковенко и др., и в настоящий период проблематика системного подхода находится в поле зрения современных отечественных и зарубежных ученых и специалистов [3 – 5, 7, 8, 11, 14].

Жизненный цикл П-ОС реализуется через организационно-технологические циклы

(ОТЦ) – взаимосвязанные, непрерывные и повторяющиеся комплексы работ. Проектная системология [8, 13] как научно-практическая дисциплина, позволяет изучать взаимосвязи и преемственность ОТЦ, а также формировать научную методологию их анализа с учетом общих тенденций развития науки и производства.

Среди структурного анализа методов и моделей оценки эффективности вариантов эконо-

мического проектирования и реализации эффектов во времени можно выделить особенности основных подходов раздельной оценки сферы ИСД в разных формациях развития и деградации общества, как внешнего окружения П-ОС (табл. 1), что негативно сказывалось на эволюции ретроспективного анализа в практических приложениях.

Таблица 1

Особенности организационно-экономических факторов сферы ИСД в разных формациях общества {ЭПДО → ЭРФОП → ЭРФОС}

Организационно-экономические факторы	Административно-командный подход (ЭПДО)	Инвестиционный подход (ЭРФОП → ЭРФОС)
1	2	3
Объект оценки и управления	объект строительства	инвестиционный проект – объект строительства
Субъект управления	подрядная строительная организация; назначаемый аппарат управления	АО, АОЗТ, ООО и др.; система менеджмента, контрактный персонал
Целеполагание	выполнение государственного плана, освоение капитальных вложений	быстрая окупаемость инвестиций
Парадигма управления	прямое управление организациями и предприятиями со стороны государства	децентрализованная система, сочетающая рыночное и государственное регулирование социально-экономических процессов (госзаказы, лицензирование, установление кредитных ставок)
Организационная структура	моноцентрическая иерархическая система хозяйствования, жесткая система распределения связей между СО	полицентрическая система хозяйствования
Регуляторы жизненного цикла	регуляторы административной ответственности субъектов хозяйствования	рыночные регуляторы на уровне инвестиционных проектов + государственное стимулирование социально-значимых объектов
Материальная база	плановое распределение ресурсов	открытый рынок ресурсов, технологий, услуг
Формы собственности на объекты строительства (здания, строения и сооружения)	коллективная (государственная, кооперативная, колхозная)	многоукладная (государственная, муниципальная, общественная, кооперативная, религиозная, частная и др.)
Отношение заказчика к собственности	заказчик не является владельцем участка застройки, инвестиций и потребителем конечной продукции	заказчик-застройщик может являться владельцем, арендатором участка застройки, инвестором или соинвестором, потребителем конечной продукции
Подход к обеспечению эффективности и качества	выборочный контроль качества конечной продукции (приемка объекта строительства), разрозненные мероприятия по улучшению качества	контроль процессов жизненного цикла продукции (процессный подход)
Выбор территории застройки	экстенсивный подход (застройка свободных территорий)	дополнение экстенсивного подхода интенсификацией строительства в застроенных районах, растущих в цене и престижных
Источники финансирования	бюджетные ассигнования, средства предприятий и ЖСК	инвестиции: бюджетные, внебюджетные (в т.ч. частные) муниципальные, смешанные

Таблица 1 (окончание)

1			2	3
Соотношение спроса и предложения	превышение спроса над предложением	циклические колебания предложения и спроса	низкая (премия за досрочный ввод объекта в эксплуатацию)	высокая (рост прибыли, увеличение доли рынка и т.д.)
Мотивация субъектов строительства в повышении эффективности				
Специфика проектирования			ограниченная номенклатура типовых проектов	индивидуальное проектирование с расширением вариантности проектных решений
Учет требований потребителя			минимальный, в рамках допустимых нормативов и типовых проектов	полный учет в индивидуальном проекте
Планирование			долгосрочное, стратегическое	бизнес-план (3...5 лет) краткосрочное, ситуационное
Нормативно-законодательная база			разветвленная система обязательных нормативов большинства параметров строительного проектирования и производства	регламент только основных социально-значимых параметров (безопасность жизнедеятельности, экологическая безопасность, обман потребителя)
Конкуренция			практически отсутствует	чрезвычайно высокий уровень
Реализация жизненного цикла			плановая	конъюнктурная (отражает колебания рынка недвижимости)
Инвестиционные риски			отсутствуют	высокие
Надежность организационно-технологических циклов			низкая	достаточная
Заинтересованность в инновационном потенциале проектируемого объекта			низкая	высокая
Сроки строительства			задержки плановых сроков проектирования и строительства объектов	сокращение цикла проектирования и возведения

Циклические процессы до настоящего времени, к сожалению, не получили модельно-математического отображения, кроме семантического описания периодов в ИСД [7]. В качестве подтверждения можно привести следующие данные и экспертные оценки: За период 1975 – 1990 гг. состояние мощного строительного комплекса ЭПДО до начала реформ переходного периода ЭРФОП капитальное строительство по многим конечным показателям серьезно отставало от стран с ЭРФОС. Около 70 % подрядных организаций были убыточными; производительность труда в 2,5 раза меньше, сроки строительства промышленных объектов в 3,5...4,0 раза дольше, уровень незавершенного строительства в 4,5...5,0 раз выше, уровень качества несоизмеримо ниже [2, 3]. В настоящее время в сравнении с данными стран

ЭРФОС существенных изменений не происходит. Это отмечают и эксперты Международного центра промышленных исследований организации ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) в странах СНГ: «Качество прединвестиционно-инвестиционных исследований пока не соответствует повышенным требованиям, предъявляемым к ним. Уровень и тщательность прединвестиционных исследований зачастую недостаточно высоки, что не обеспечивает принятия рациональных проектных решений на последующих стадиях инвестиционно-эксплуатационного процесса. Этот недостаток ведет к непрерывному распределению средств, длительности их освоения (отвлечение и замораживание капитальных вложений – прим. автора), увеличению инвестиций, снижению сро-

ков службы оборудования или одностороннему развитию» [1, 4].

Так, в стратегии прогнозирования научно-исследовательских исследований Европейского Союза, практики и будущего строительства в США (ЭРФОС) выделяются характерные для ИСД проблемы, определяющие прогресс строительства в XXI веке, по крайней мере, в первой его четверти. Они заключаются в достижении следующих результатов: снижение стоимости строительства на 30 %; сокращение сроков создания и реализации проектов объектов строительства на 50 %; сокращение эксплуатационных расходов для строительных объектов на 50 %; снижение энергоемкости на 50 %; уменьшение количества отходов и загрязнения окружающей среды на 50 %; сокращение травматизма на 50 % (Директива (регламент ЕС 106) Европейской платформы техно-

логии проектирования и строительства в XXI веке. European Construction Technologic Platform – ECTP) [4, 5].

Выделенные зоны прогноза циклического развития инновационного сдвига потенциала продуктивности ресурса и времени (рис. 1) в эволюции кратко рассмотренных парадигм (теоретических и методологических предпосылок) сферы ИСД {ЭПДО → ЭРФОП → ЭРФОС} подчеркивают как «достигнутый» (иррациональный), так и «прогнозируемый» период обоснованных сроков создания и развития П-ОС и требующий решения этой проблемы с помощью методики формирования показателей качества П-ОС, например, базирующейся на одном из статистических экстраполяционных методов прогнозирования – корреляционно-регрессионном анализе [6, 7].

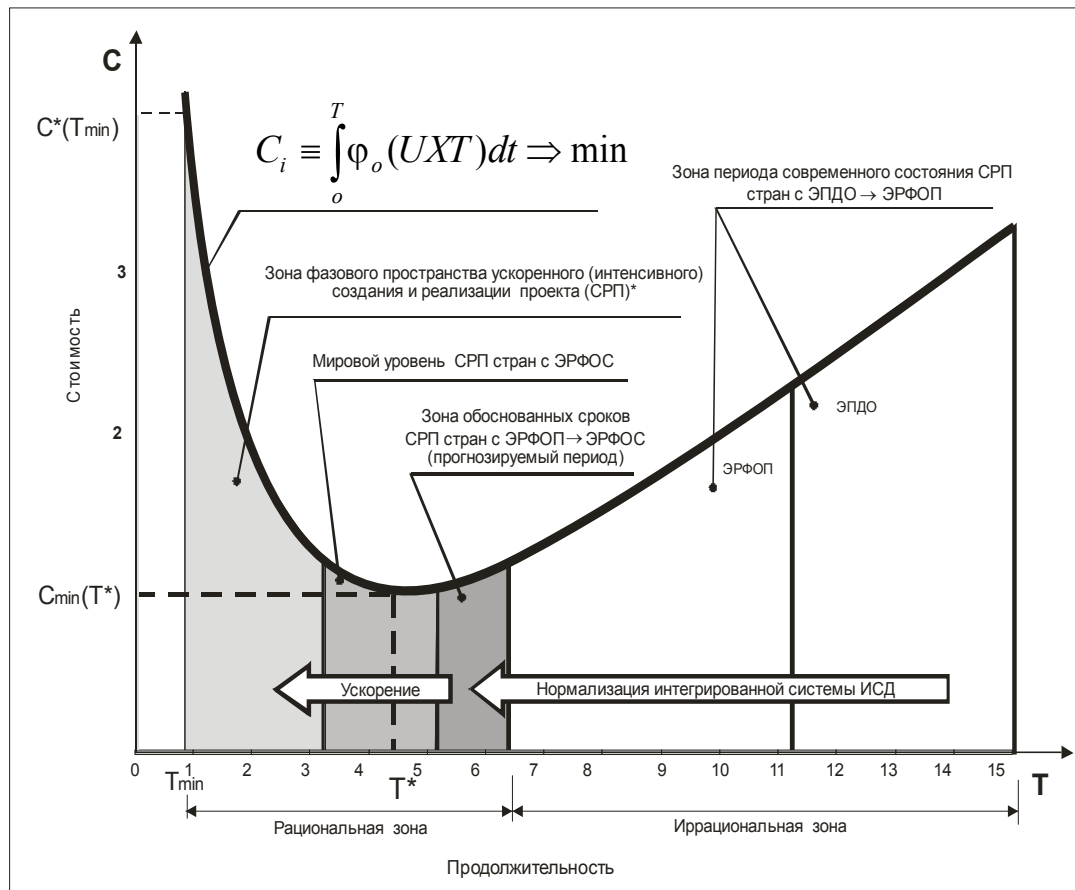


Рис. 1. Циклическая модель прогнозирования развития инновационного потенциала продуктивности ресурса («усилия-затраты») стадий и этапов ИСД:

C_i – текущие затраты (стоимость); ϕ – интенсивность (скорость) расходования ресурсов (R) и средств труда (G); U – вектор с компонентами $U_1 \subset R$, $U_2 \subset G$, $U_3 \subset V$, характеризующими формирование структур и функций ОТЦ; X – вектор параметров, которые характеризуют морфологию формообразования ПЖЦП-ОС; t_0 – текущее время ОТЦ (стадий, этапов) обеспечения и сопровождения П-ОС

Целью работы является формирование концептуально-методологического подхода к исследованию инновационной эволюции ретро-

спективного анализа циклических процессов и особенностей оценки инфраструктуры внешней среды окружения П-ОС – эффективности «уси-

лий-затрат» (коэффициента распределения во времени капиталовложений); на основе принципов цикличности – как универсальной закономерности развития систем различной формации общества и проектной системологии организации жизненного цикла $\{\text{ИСД}\} \subseteq \{\text{П-ОС}\}$.

Изложение основного материала

В условиях эволюции преобразований разных систем хозяйствования, определяемых экономической средой общества, сложившихся в последние десятилетия, исследование вопросов эффективности многокритериальных решений, принимаемых в документах подготовки инвестиционно-строительного производства ИСД, осуществляется в основном двумя методами: по дисконтированию денежных потоков и по периодам окупаемости и доходности инвестиций, которые применяют в нормативах и при оценке эффективности управления, организации и экономики хозяйственной деятельности, к которой непосредственно относится ИСД [1 – 3, 6, 9, 10]. При этом определение экономической эффективности проектов ИСД ориентировано на сложившиеся в отечественной (стран СНГ) и зарубежной практике подходы к оценке эффективности инвестиционных проектов и инноваций в строительстве и учитывают прогрессивные особенности ЭПДО → ЭРФОП → ЭРФОС, рассматриваемые как внешнее окружение П-ОС.

Как правило, вне зависимости от принятых условий и структуры финансирования, инвестирование средств производится на стадии проектного финансирования одновременно, т.е. в период планового принятия обоснованных решений при разработке документов по

организации исполнения (осуществления) проекта ИСД [9, 12, 15]. В этих документах не учитывается три признака-реквизита обеспечения и сопровождения проекта ИСД: величины фазовой функции, горизонта времени жизненного цикла проекта (ЖЦП) и иерархического уровня проекта ИСД. Для рассматриваемого случая – это необходимость эффективного распределения инвестиционных ресурсов (стоимость, капиталовложения и др.) во времени – интервалам фазового пространства, стадий и этапов ЖЦП-ОС, т.е. соответствия движения денежных средств инвестора, кредитора и генподрядных (строительных) организаций, отражающих комплексное влияние инвестиций, технологии и организации строительства, отображенной в ОТЦ, на объем и сроки производства по созданию готовой продукции – проектной (ГПП), строительной (ГСП) и промышленной (товарной) – ГПрП.

Выполненные аналитические обобщения информационных потоков данных, проведенный функциональный организационно-технологических анализ и полученные закономерности связей структурно-параметрических характеристик проекта ОТЦ в ИСД [2, 5, 13 – 15] дают возможность оценить его реализацию в модели одноименных циклических процессов разных экономических сред хозяйствования. Построенные диаграммы процесса капиталовложения в создание ГПП ↔ ГСП и их распределение во времени и затратам для реализации по периодам ЖЦП ИСД весьма различны (рис. 2, табл. 2), но все подчиняются найденным и выведенным на фазовом пространстве закономерностям.

Таблица 2

Сравнительные данные распределения коэффициента капиталовложений по стадиям жизненного цикла проекта ИСД в условиях эволюции форм хозяйственной деятельности $\{\text{ЭПДО} \rightarrow \text{ЭРФОП} \rightarrow \text{ЭРФОС}\}$

Стадии фазового пространства жизненного цикла проекта	Коэффициент распределения капиталовложений α			
	ЭПДО	ЭРФОП МОП	ЭРФОП НМР	ЭРФОС
Концепция идеи (инвестиционного замысла) эффективности инвестиций проекта (ТЭОИ)	0,12	0,36	0,34	0,25
Разработка инновационного строительного проекта (ГПП)	0,32	0,30	0,25	0,27
Осуществление, реализация проекта в строительстве (ГПП → ГСП)	0,36	0,21	0,24	0,24
Завершение (пуск, наладка, ввод в эксплуатацию (ГСП → ГПрП))	0,20	0,13	0,17	0,24

Суть модели состоит в том, что инновационный (техничко-технологический, организационно-экономический) потенциал поднимается

до уровня научного потенциала, что позволяет инвестору, заказчику, кредитору, генподрядчику оценить обоснованность и эффективность

распределения капиталовложений на макро- и микроэкономическом уровнях и выполнить сравнение для разных характеристик, определяющих взаимоотношения интересов участников ИСД (табл. 3), а в ретроспективном аспекте сравнить экономическую среду систем хозяй-

ствования и окружения проекта. Закономерности, которым подчиняются выведенные зависимости величины «усилий-затрат» на различных стадиях фазового пространства жизненного цикла П-ОС, получены с применением табличного процессора MS Excel.

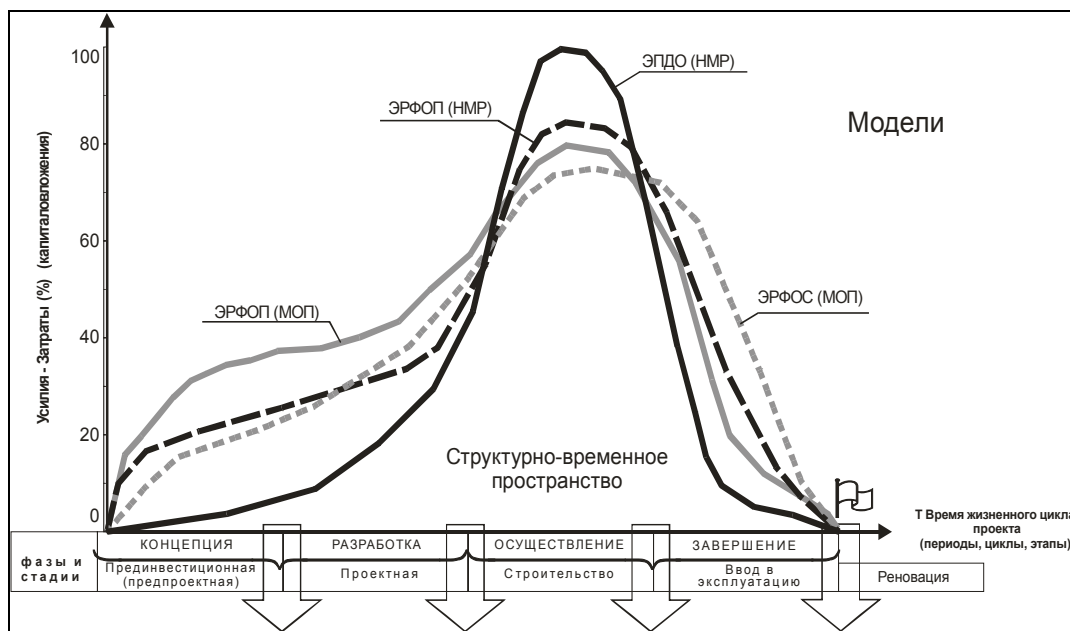


Рис. 2. Схема модели пофазовой траектории организации распределения ресурса («усилий-затрат» ОТЦ) в структурно-временном контуре ИСД в разных моделях проектов экономических сред ориентации общества: МОП – модель обобщенного проекта на базе дескриптивных информациологических данных (решений-ретро); НМР – модель принятия решений на базе прескриптивных (нормативно методических) данных; ↓ – «стыковые зоны» инновационного сдвига потенциала ресурса (несоблюдения во времени стадий и этапов двух периодически изменяющихся величин – времени, стоимости и структурного содержания модуля ОТЦ)

Таблица 3

Зависимость величины затрат (капиталовложений) от времени организации разных стадий фазового пространства ЖЦП-ОС ИСД: (Y – усилия (затраты ресурсов); x – время (продолжительность периодов, фаз, циклов, этапов, стадий); R^2 – величина достоверности аппроксимации)

Стадии фазового пространства ОТЦ проекта	Социально-экономическая среда систем хозяйствования			
	ЭПДО (МОП)	ЭРФОС (МОП)	ЭРФОП (МОП)	ЭРФОП (НМР)
кон-цепция	$Y = 0,006x^2 + 0,0232x + 0,0401$ $R^2 = 0,9894$	$Y = -0,0458x^2 + 0,999x + 0,1607$ $R^2 = 0,9894$	$Y = -0,0458x^2 + 0,999x + 0,1607$ $R^2 = 0,9894$	$Y = -0,1004x^2 + 1,7896x + 1,2832$ $R^2 = 0,9552$
разра-ботка	$Y = 0,0004x^{3,3102}$ $R^2 = 0,9953$	$Y = 0,3901x^{1,1091}$ $R^2 = 0,9605$	$Y = 0,0398x^2 - 0,8604x + 11,118$ $R^2 = 0,9631$	$Y = 0,0392458x^2 - 0,8644x + 14,054$ $R^2 = 0,9888$
осуще-ствле-ние	$Y = -0,3724x^2 + 21,168x - 275,56$ $R^2 = 0,9803$	$Y = -0,0987x^2 + 5,875x + 68,537$ $R^2 = 0,9895$	$Y = -0,198x^2 + 11,51x - 145,91$ $R^2 = 0,9803$	$Y = -0,1338x^2 + 7,6858x - 90,538$ $R^2 = 0,9895$
завер-шение	$Y = 0,2038x^2 - 17,136x + 359,71$ $R^2 = 0,9677$	$Y = -0,0362x^2 + 1,0802x + 23,154$ $R^2 = 0,9836$	$Y = 0,0822x^2 - 8,0327x + 194,69$ $R^2 = 0,9941$	$Y = 0,1281x^2 - 11,447x + 256,26$ $R^2 = 0,9829$

Выводы

1. Выявлена научно-практическая значимость понятия жизненного цикла ИСД современных П-ОС в параметрах технического и экономического регулирования в строительстве, которые должны рассматриваться на макро- (микро-) экономическом уровне в эволюции ретроспективного анализа оценки эффективности ресурса.
2. В информационном и организационно-технологическом аспекте выбор структуры и содержания жизненного цикла П-ОС в качестве центральной единицы разработки модели управления организационно-экономической подготовкой инвестиционно-строительного производства позволяет все переменные рассматривать как элементы структуры ИСД, а организационные, технологические и экономические документы – как свойства инженерной подготовки структуры ОТЦ.
3. Описываемые методы проектирования и управления ОТЦ П-ОС практически применялись и давали удовлетворительные результаты при проектно-экспериментальных исследованиях и оценке предложенной «идеи» инженерных расчетов экономической обоснованности отдельных этапов и стадий оценок эффективности проектных решений, на ранних стадиях проектирования, применительно к определенным ситуациям и отраслевой специфике П-ОС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абарыков, В. П. Оптимизация системы проектирования в строительстве [Текст] / В. П. Абарыков. – М.: Грааль, 2000. – 317 с.
2. Барзилович, Д. В. Інформаційні матеріали про стан та розвиток системи технічного регулювання у будівництві України [Текст] / Д. В. Барзилович // Будівництво. Наука. Проекти. Економіка. – 2009. – № 1 (10). – С. 3-10.
3. Волков, Ю. С. Строительная наука и строительная практика [Текст] / Ю. С. Волков // Строительный эксперт. – 2006. – № 6 (70). – С. 10-19.
4. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика

- [Текст] / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М.: Дело, 2001. – 832 с.
5. Гусакова, Е. А. Системотехника организации жизненного цикла объекта строительства [Текст] / Е. А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. – 256 с.
6. Зацаринский, Н. В. Нормативно-правовое обеспечение взаимодействия участников инвестиционно-строительной деятельности [Текст] / Н. В. Зацаринский, Н. Ф. Костецкий // Экономика строительства. – 2001. – № 2. – С. 2-18.
7. Кирнос, В. М. Исследование и разработка моделей и методов создания и управления проектами ПСС [Текст] / В. М. Кирнос, П. Е. Уваров // Будівництво України. – 2006. – № 3. – С. 37-41.
8. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. ДБН В.1.2-5:2007 [Текст].
9. Системотехника [Текст] / под ред. А. А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – 768 с.
10. Ткаченко, В. А. Соціально-економічна еволюція структурних зрушень в економічних системах [Текст] / В. А. Ткаченко. – Д.: ДУЕП, Моноліт, 2008. – 256 с.
11. Уваров, Е. П. Теоретические основы и практика комплексного проектирования возведения и реконструкции промышленных объектов [Текст] / Е. П. Уваров, П. Е. Уваров // Вісник Східноукраїнського держ. ун-ту. Ювілейний вип. – Луганськ: СУДУ, 1996. – С. 195-202.
12. Уваров, П. Е. Критерии оценки в методологии проектирования и управления проектом [Текст] / П. Е. Уваров // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. – Д.: ПДАБА, 2000. – С. 75-81.
13. Уваров, П. Є. Принципи інтегрованого організаційно-технологічного проектування інвестиційно-будівельної діяльності [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Уваров Павло Євгенович; Придніпровська держ. академія буд-ва та арх-ри. – Д., 2008. – 21 с.
14. Юзвешин, И. И. Основы информациологии [Текст] / И. И. Юзвешин. – М.: Высш. шк., 2001. – 832 с.
15. Яковенко, Е. Г. Циклы жизни экономических процессов, объектов и систем [Текст] / Е. Г. Яковенко, М. И. Басс, Н. В. Махров. – М.: Наука, 1991. – 219 с.

Надійшла до редколегії 13.01.2010.

Прийнята до друку 19.01.2010.

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В даній роботі авторами запропоновано метод діагностування та контролю відмов стрілочних переводів з електродвигунами постійного струму за допомогою нейронних мереж.

В этой работе авторами предложен метод диагностирования и контроля отказов стрелочных переводов с электродвигателями постоянного тока на базе нейронных сетей.

In the paper a procedure of diagnostics and check of failures of switches with DC electric engines on the basis of neural networks is proposed by the authors.

Вступ

Діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму за допомогою аналізу кривої зміни струму у його колі живлення дозволяє своєчасно виявляти та прогнозувати відмови переводів під час їх роботи в реальних умовах експлуатації. Оскільки постійне спостереження за формою кривої зміни струму на практиці здійснювати проблематично, задача автоматизації розпізнавання аномальних кривих споживаного струму є актуальною.

Методика вимірювання

Останнім часом широкого розвитку набули математичні методи обробки діагностичної інформації, що базуються на застосуванні штучних нейронних мереж (ШНМ). До числа переваг нейронних мереж можна віднести можливість знаходження прихованих залежностей між несправністю й формою діагностичного сигналу, прийняття рішень в умовах неповної інформації, автоматичної класифікації образів форми сигналу а також прогнозування відмов [1]. Застосування апарата нейронних мереж для діагностування стрілочних переводів за формою споживаного струму дозволить виявляти більшість несправностей в автоматичному режимі та своєчасно інформувати про них обслуговуючий персонал.

Метою даної роботи є визначення оптимальної структури нейронної мережі для побудови автоматизованої системи контролю та діагностування стрілочних переводів за кривою зміни струму у колі живлення стрілочного електродвигуна. На нейронну мережу покладається задача автоматичного визначення несправ-

ностей стрілочних переводів за заданими діагностичними ознаками.

Результати

За допомогою використання ШНМ ми можемо діагностувати наступні несправності стрілочних переводів:

- 1) зменшення опору лінійних провідників Л1 та Л2;
- 2) відсутність зазору в корені вістря стрілки;
- 3) забруднення башмаків стрілки;
- 4) засипання стрілочного переводу;
- 5) люфти в з'єднаннях робочої тяги;
- 6) величини струму переводу стрілки та струму фрикції;
- 7) вихід з ладу блоку випрямляча;
- 8) обмерзання або забруднення контактів автоперемикача;
- 9) обрив секцій обмоток якоря двигуна;
- 10) коротке замикання в якорі двигуна;
- 11) дефекти підшипників двигуна.

Діагностичні ознаки, за якими визначається виникнення несправностей, наведені в попередніх публікаціях [2, 3].

Умовно всі вищезгадані несправності можна поділити на два типи:

1. Несправності, контроль яких не потребує спектрального аналізу (несправності 1 – 8).
2. Несправності, що контролюються з використанням спектрального аналізу (несправності 9 – 11).

Найпростішим елементом штучних нейронних мереж є формальний нейрон (ФН, рис. 1) [4]. Мережі, побудовані з таких нейронів, можуть сформувати довільну багатомірну функцію на виході.



Рис. 1. Формальний нейрон

Нейрон складається зі зваженого суматора й нелінійного елемента. Функціонування нейрона визначається формулами:

$$NET = \sum_i w_i x_i ; \quad (1)$$

$$OUT = F(NE T), \quad (2)$$

де x_i – вхідні сигнали, сукупність всіх вхідних сигналів нейрона утворює вектор x ; w – вагові коефіцієнти, сукупність вагових коефіцієнтів утворює вектор синаптичних ваг w ; NET – зважена сума вхідних сигналів; F – нелінійна функція, що називається функцією активації. Нейрони першого шару мають по 300 входів x , а другого – по 10. Кожний нейрон незалежно від шару має один вихід (аксон) із сигналом OUT . Параметрами нейрона, що визначають його роботу, є: вектор ваг w і вид функції активації F .

У якості функції активації застосовано гіперболічний тангенс (рис. 8):

$$OUT = th(NE T) = \frac{e^{NE T} - e^{-NE T}}{e^{NE T} + e^{-NE T}}. \quad (3)$$

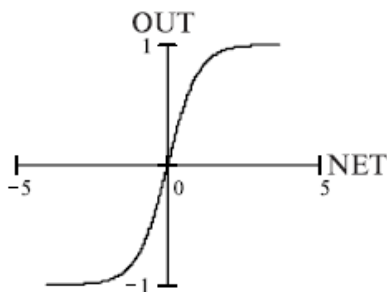


Рис. 2. Гіперболічний тангенс

Безперервність першої похідної функції дозволяє навчати мережу градієнтними методами, наприклад, методом зворотного поширення помилки (*back propagation*). Функція симетрична щодо точки $(0, 0)$, це – перевага в порівнянні із сигмоїдою.

Формальні нейрони можуть поєднуватися в мережі різними способами. Найпоширенішим видом мережі став багатошаровий перцептрон (рис. 3). Мережа складається з довільної кількості шарів нейронів. Нейрони кожного шару з'єднуються з нейронами попереднього й наступного шарів за принципом «кожний з кож-

ним». Перший шар (ліворуч) називається сенсорним або вхідним, внутрішні шари називаються прихованими або асоціативними, останній (самий правий, на малюнку складається з одного нейрона) – вихідним або результуючим. Кількість нейронів у шарах може бути довільною. Позначимо кількість шарів і нейронів у шарі. Вхідний шар: N_I нейронів; N_H нейронів у кожному прихованому шарі; N_O вихідних нейронів. x – вектор вхідні сигнали мережі, y – вектор вихідних сигналів.

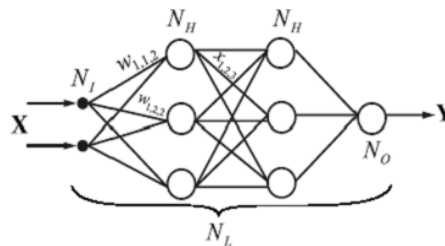


Рис. 3. Багатошаровий перцептрон

Вхідний шар не виконує ніяких обчислень, а лише розподіляє вхідні сигнали, тому іноді його враховують, іноді — ні. Позначимо через N_L повну кількість шарів у мережі, враховуючи вхідний.

Робота багатошарового перцептрона (БШП) описується формулами [6]:

$$NET_{jl} = \sum_i w_{ijl} x_{ijl} ; \quad (4)$$

$$OUT_{jl} = F(NE T_{jl}) ; \quad (5)$$

$$x_{ij(l+1)} = OUT_{jl} , \quad (6)$$

де індекс i – номер входу, j – номер нейрона в шарі, l – номер шару; x_{ijl} – i -й вхідний сигнал j -го нейрона в шарі l ; w_{ijl} – ваговий коефіцієнт i -го входу j -го нейрона у шарі l ; NET_{jl} – сигнал NET j -го нейрона в шарі l ; OUT_{jl} – вихідний сигнал нейрона j у шарі l .

Для діагностування стрілочного переводу необхідно записати форму діагностичного сигналу (кривої струму) у цифровому вигляді. Криву зміни струму знімають з резистора, послідовно включеного в лінійне коло, перетворюють за допомогою аналого-цифрового перетворювача у цифрову форму та записують у пам'ять комп'ютера.

Після запису виконують попереднє перетворення діагностичного сигналу, що включає зниження частоти його дискретизації для зменшення обсягу обчислювальних робіт, нормалізацію рівня сигналу, деякі інші перетворення

для підвищення ефективності розпізнавання образів.

Для діагностування несправностей 1-го типу на входи першого шару ШНМ можна подати (після необхідної обробки) цифровий сигнал, що несе інформацію про криву зміни струму.

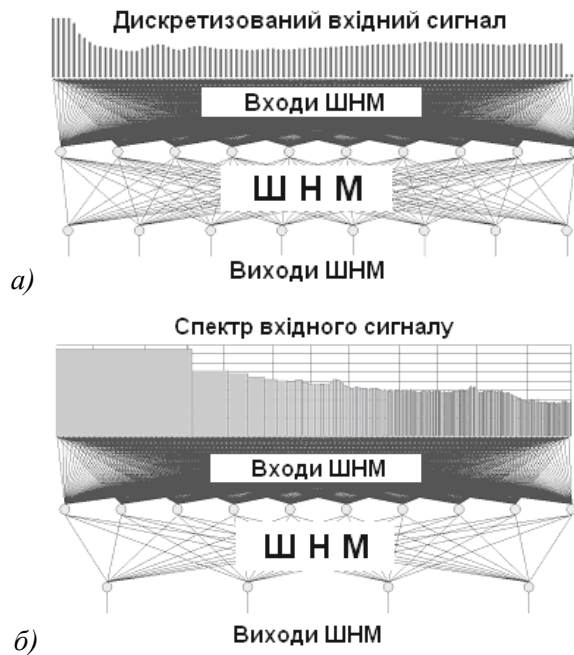


Рис. 4. ШНМ для аналізу діагностичного сигналу:
а) для розпізнавання аномальної форми кривої струму,
б) для виявлення гармонік 300 і 600 Гц у спектрі

Для діагностування несправностей 2-го типу сигнал за допомогою перетворення Фур'є представляють у вигляді спектрограми. Для навчання БШП із сигналів, отриманих у результаті роботи як справних стрілочних переводів, так і за наявності різних несправностей, формують навчальну вибірку (НВ). Від складу, повноти, якості НВ значною мірою залежать час навчання ШНМ і вірогідність одержуваних моделей.

Перед навчанням БШП необхідно визначити конфігурацію і параметри БШП: вибрати число шарів і нейронів у шарі, задати діапазон зміни входів, виходів, ваг і граничних рівнів з огляду на множину значень обраної функції активації; присвоїти початкові значення ваговим коефіцієнтам і граничним рівням і додатковим параметрам (наприклад, крутості функції активації, якщо вона буде налаштовуватися при навчанні).

Кількість входів ШНМ дорівнює числу дискретних цифрових значень, на які розбито діагностичний сигнал, а кількість виходів (а отже і нейронів у вихідному шарі) – числу можливих діагностичних повідомлень (рис. 4). Оптимальне число нейронів прихованого шару визначають експериментально.

Блок-схема алгоритму (рис. 5) відображає процес навчання БШП на прикладі двошарового перцептрона. Оператори 1–6 виконують рандомізацію синаптичних ваг 1-го і 2-го шарів нейронної мережі (n – номер нейрона у шарі; m – номер вхідного синапса (дендрита) нейрона; $layer1[n, m]$ ($layer2[n, m]$) – ваговий коефіцієнт m -го входу нейрона n першого (другого) шару; $NQ1, NQ2$ – кількість нейронів, відповідно, у першому і другому шарі; $IQ1, IQ2$ – кількість вхідних синапсів нейронів першого і другого шару), потім нейронній мережі по черзі пред'являють еталонні зразки всіх вхідних і відповідних їм вихідних векторів (оператор 8), що належать до навчальної вибірки (HB_i , де i – номер вибірки). Кількість циклів навчання дорівнює розмірові НВ k (оператор 7). Оператори 9 – 18 обчислюють значення аксонів нейронів 1-го і 2-го шарів БШП ($axon1, axon2$) за формулами (3, 4). Далі нейронна мережа працює за алгоритмом зворотного поширення помилки. Оператори 19, 20 визначають помилку ($err2[n]$) для кожного нейрона 2-го шару; 21, 22 – поправку для кожного нейрона шару 2. Оператори 24 – 27 коректують синаптичні ваги нейронів 2-го шару, Оператори 28 – 32 обчислюють поправку для кожного нейрона шару 1. Оператори 33 – 36 коректують синаптичні ваги нейронів 1-го шару. По закінченні циклу (оператор 7) виконується порівняння середнього квадратичного відхилення помилки із заданим значенням (min , оператор 23). Якщо відхилення менше цього значення, то навчання БШП вважається завершеним, в противному разі процес повторюється.

Навчений двошаровий перцептрон реалізує таку функцію [5]:

$$y(n) = f \left[\sum_{h_1=0}^{H_1} a_{h_1} f \left[\sum_{i=0}^N a_i x_i(n) \right] \right]; \quad (7)$$

де a_i – ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 1; a_{h_1} – ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 2; x_i – вхідні значення нейронної мережі; f – функція активації; $y(n)$ – значення виходу нейрона n ; N, H_1 – розмірність вхідних сигналів, відповідно, шару 1 і шару 2.

Після закінчення навчання проводять розпізнавання стану стрілочного переводу за формою кривої струму, що не входить до НВ, з метою тестування правильності роботи ШНМ за алгоритмом, показаним на рис. 6.

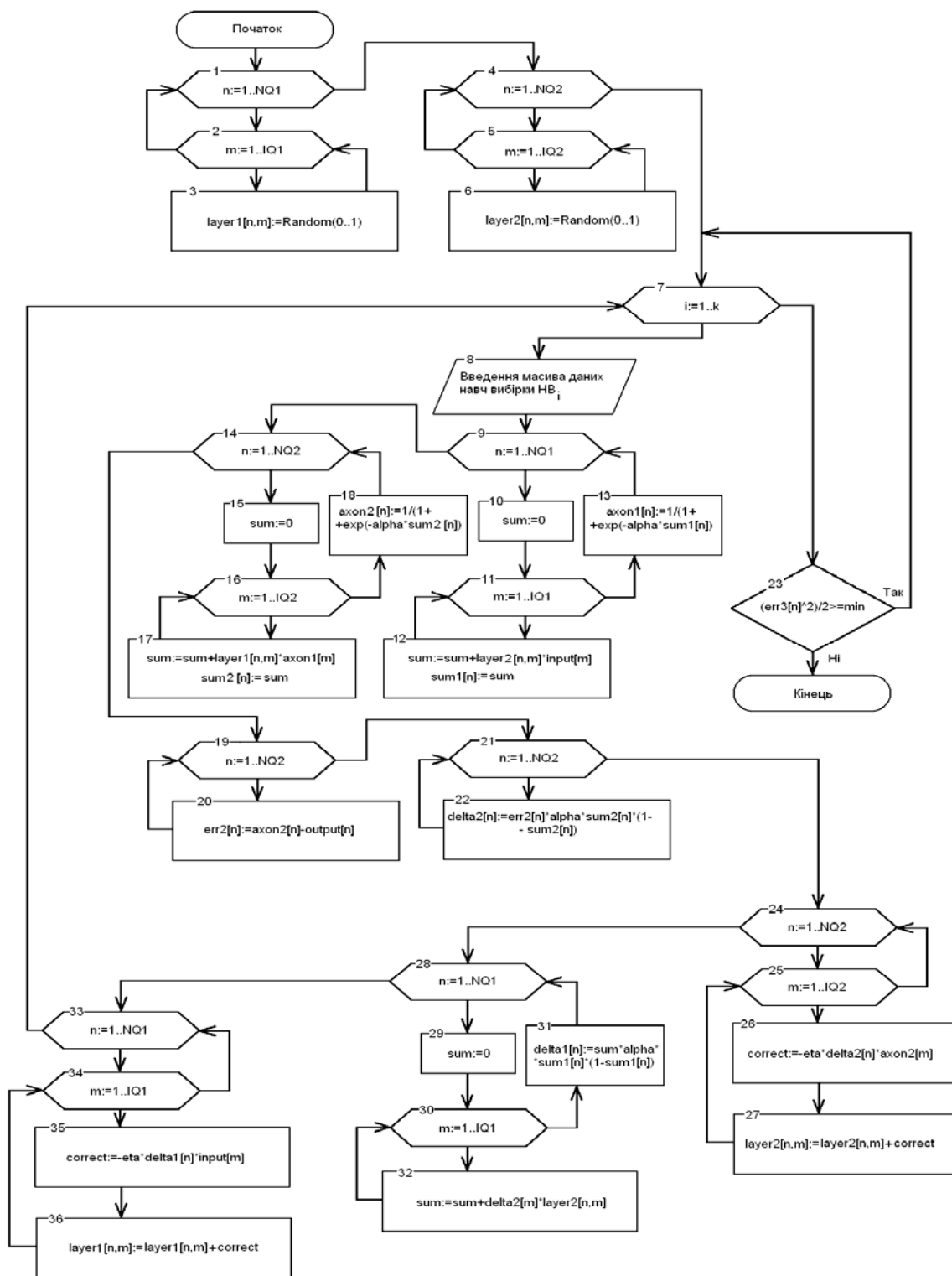


Рис. 5. Алгоритм навчання двошарового перцептрона



Рис. 6. Алгоритм пошуку несправностей

Висновки

З перерахованого вище можна зробити висновок, що за допомогою аналізу форми кривої зміни струму, та її спектрального аналізу можна виявляти всі основні несправності двигуна постійного

струму з послідовним збудженням і значну частину несправностей стрілочного переводу з досить великою точністю, а застосування до вирішення цієї задачі нейромережних технологій дозволить максимально автоматизувати систему діагностування та контролю, а також розпізнавати приховані несправності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Заенцев, И. В. Нейронные сети: основные модели [Текст] : учеб. пособие к курсу «Нейронные сети» для студ. 5 курса магистратуры каф. электроники физ. ф-та Воронежского гос. ун-та / И. В. Заенцев. – Воронеж, 1999.
2. Маловічко, В. В. Визначення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочних електродвигунів [Текст] / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 9-12.
3. Маловічко, В. В. Діагностування стрілочних переводів по кривим споживання струму в умовах експлуатації на станції [Текст] / В. В. Маловічко // Зб. наук. пр. – Донецький ін-т залізн. трансп. Української держ. академії залізн. трансп. – Вип. 11. – Донецьк, 2007.
4. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей [Текст] / А. И. Галушкин. – Кн. 1. – М.: ИПРЖР, 2000.
5. Уоссерман, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика [Текст] / Ф. Уоссерман. – М.: Мир, 1992. – 237с.

Надійшла до редколегії 14.01.2010.
Прийнята до друку 20.01.2010.

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Пропонується підвищити безпеку функціонування сортувальних гірок шляхом вирішення задачі контролю заповнення колій із застосуванням методу корекції спектрів.

Предлагается повысить безопасность функционирования сортировочных горок путем решения задачи контроля заполнения путей с использованием метода коррекции спектров.

It is offered to improve the functioning safety of hump yards by means of a solution of problem of checking the tracks occupancy using the spectra correction method.

Вступ

В галузі залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку існує проблема дистанційного контролю заповнення підгіркової колії відчепами (КЗП), яка полягає в достовірності визначення відстані від вхідного кінця підгіркової колії до найближчого відчепу, яким вона зайнята.

Для автоматичного керування уповільнювачами й усунення оператора від процесу гальмування впроваджується система автоматичного регулювання швидкості [1]. Дана система дозволяє покращити якість гальмування і повністю ліквідувати ручну працю регулювальників швидкості руху вагонів на підгіркових коліях сортувального парку. При ручному гальмуванні оператор не повністю враховує ряд факторів, які впливають на швидкість відчепів: кліматичні умови, ходові властивості відчепів, відстань їх пробігу з урахуванням заповнення підгіркових колій та ін. Будь-яке неточне гальмування призводить до того, що відчепи перегальмовуються і утворюють вікна між вагонами на підгіркових коліях, тоді виникає необхідність у додатковій операції осаджування для зчеплення вагонів, або недогальмовуються і можливий «бій» вагонів.

З метою визначення ступені вільності підгіркових колій, застосовуються пристрої КЗП [1, 2]. За їх даними виробляється програма прицільного гальмування для кожного відчепу, який вступає на підгіркову колію.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні та розробці методу контролю заповнення колій підгіркового парку для підвищення безпеки сортувальних гірок.

Огляд літератури

Відомий спосіб КЗК шляхом ділення підгіркової колії на короткі ізольовані ділянки [1],

кожна з яких являє собою нормально розімкнуте рейкове коло (РК). Контроль вільності ділянок колії здійснений по вимірюючій магістралі, в яку послідовно ввімкнені вторинні обмотки вимірюючих трансформаторів, а на виході – первинна обмотка понижуючого трансформатора. З вторинної обмотки цього трансформатора знімається напруга, пропорційна довжині вільної колії.

Недоліками даного методу контролю заповнення колій можна вважати: наявність у схемі ізолюючих стиків, які є одним із найненадійніших елементів; необхідність розбиття рейкової лінії (РЛ) на ділянки; велику кількість апаратури – по одному комплекту для кожної ділянки.

Найближчим аналогом до способу, що пропонується в даній роботі, є застосування способу імпульсного зондування (ІЗ) колії [3]. В цьому способі принцип визначення відстані до рухомої одиниці (шунта) в РК заснований на розрахункові індуктивності РЛ за перехідним процесом струму. Знаючи питому індуктивність РЛ, розраховують відстань до шунта після подачі в РЛ зонduючих імпульсів напруги різної полярності і вимірювання струму.

Недоліки: невисока точність; для роботи блок ІЗ колії витрачає час на подачу пробних імпульсів, а потім робочих; розрахунок базується на заданій питомій індуктивності РЛ. Але значення питомої індуктивності може змінюватися в процесі експлуатації, тому і розрахунки при її зміні будуть невірними. Даний спосіб є чутливим до шуму на вході РК.

Застосування методу корекції спектрів до вирішення задачі контролю заповнення колій

Математичний апарат методу корекції спектрів (МКС) стосовно ідентифікації за ступеневим сигналом наданий у [4].

На рис. 1 наведено схему підключення генератора тестового сигналу Γ до РЛ для проведення вимірів згідно запропонованого способу КЗК.

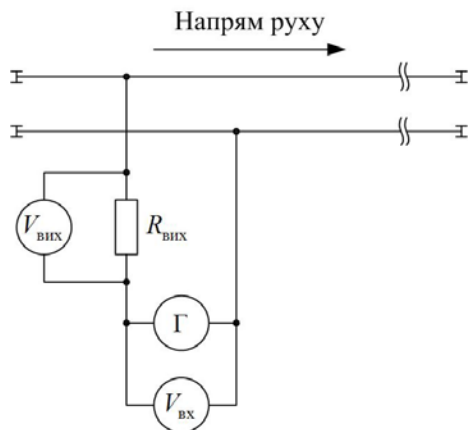


Рис. 1. Схема проведення вимірів

На рис. 1 введено такі позначення: $V_{\text{вх}}$ – аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що вимірює форму напруги вхідного сигналу; $R_{\text{вих}}$ – активний опір, з якого знімається вихідна напруга; $V_{\text{вхх}}$ – АЦП, що вимірює форму напруги вихідного сигналу.

Порядок дій при реалізації запропонованого способу в термінах [4] є таким (див. рис. 1). Подають на вхідний кінець рейкового кола сигнал, який не містить нульових компонентів у власному амплітудному спектрі в діапазоні від постійної складової до половини частоти дискретизації. Шляхом оцифровування вимірюють поданий вхідний (оригінальний) сигнал на виході генератора тестового сигналу Γ (за допомогою $V_{\text{вх}}$) та вихідний (оригінальний) сигнал на активному опорі $R_{\text{вих}}$ (за допомогою $V_{\text{вхх}}$). Задають зразковий сигнал для лінійного фільтра у виді дискретного аналогу ступеневої дії. Знаходять характеристики лінійного фільтра, який для вхідного оригінального сигналу на власному вході отримує заданий зразковий сигнал (вхідний змінений сигнал) на власному виході. Подають на вхід знайденого раніше лінійного фільтра виміряний вихідний оригінальний сигнал і отримують на виході знайденого раніше лінійного фільтра вихідний змінений сигнал. Знайдений вихідний змінений сигнал використовують для ідентифікації за перехідною характеристикою для визначення відстані від вхідного кінця рейкової лінії до найближчого відчепа.

Задача, яка вирішується запропонованим способом, полягає у:

- спрощенні вимог до тестового сигналу, який застосовується у способі ідентифікації характеристик рейкового кола шляхом подання на його вхід ступеневого тестового сигналу (ідентифікація за перехідною характеристикою);
- зменшенні кількості апаратури на одну контрольовану колію;
- збільшенні точності визначення відстані від вхідного кінця підгіркової колії до найближчого відчепа, яким вона зайнята;
- відмові від використання ізолюючих стиків для розділення на контрольовані секції;
- прискоренні розпуску составів завдяки появі передумов для вирішення задачі прицільного гальмування;
- відмові від необхідності фільтрації шуму в тестовому сигналі.

Висновки

Результатом даної роботи є вдосконалення способу КЗК, що в свою чергу дозволяє збільшити точність визначення відстані від вхідного кінця підгіркової колії до найближчого відчепа, яким вона зайнята. На сортувальних гірках прискорюється розпуск составів завдяки появі передумов для якіснішого вирішення задачі прицільного гальмування. На залізниці в цілому це забезпечує підвищення безпеки руху поїздів, серед іншого, за рахунок відмови від людської праці в небезпечних умовах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Казаков, А. А. Релейная централизация стрелок и сигналов [Текст] / А. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1984. – 312 с.
2. Казаков, А. А. Станционные устройства автоматики и телемеханики [Текст] / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1990. – 431 с.
3. Одиладзе, В. Р. Система контроля заполнения путей методом импульсного зондирования КЗП ИЗ [Текст] / В. Р. Одиладзе // Автоматика. Связь. Информатика. – 2008. – № 11. – С. 14-15.
4. Рибалка, Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою ступеневого сигналу [Текст] / Р. В. Рибалка // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 154-159.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 23.01.2010.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

На основі аналізу існуючих методів контролю тональних рейкових кіл проведено вибір параметрів та критеріїв для автоматизації контролю параметрів тональних рейкових кіл.

На основе анализа существующих методов контроля тональных рельсовых цепей проведен выбор параметров и критериев для автоматизации контроля тональных рельсовых цепей

Based on the analysis of existing methods of checking the tonal frequency track circuits, the choice of parameters and options for check automation of tonal frequency track circuits is conducted.

Введение

Рельсовая цепь на данный момент является основным датчиком состояния участка пути, информация о состоянии которого позволяет организовать движение на железнодорожном транспорте. Тональная рельсовая цепь как ответственный элемент регламентирована по периодичности контроля состояния технологическими картами, согласно которым состояние ТРЦ определяется косвенным методом через электрические параметры. Обслуживание рельсовой цепи требует временных и ресурсных затрат не только по самой проверке, но и по оформлению соответствующей документации. Автоматизация контроля состояния ТРЦ способствует уменьшению влияния человеческого фактора, затрат на организацию проверки и оформление документации.

Цель работы

Целью научной работы является анализ существующих методов контроля тональных

рельсовых цепей и выбор параметров и критериев оценки технического состояния рельсовых цепей для дальнейшей разработки методов и средств автоматизированного контроля ТРЦ

Анализ существующих методов контроля тональных рельсовых цепей

В настоящее время при эксплуатации тональной рельсовой цепи необходимо руководствоваться инструкцией ЦШЕОТ/0012, ЦШ/0042. Основным документом для регулировки ТРЦ является регулировочная таблица (табл. 1), в которой указаны основные электрические параметры конкретной рельсовой цепи. Периодичность и порядок проверки состояний ТРЦ регламентированы пунктами 10.2...10.4 инструкции ЦШЕОТ/0012 и технологическими картами ТК34...ТК37 инструкции ЦШ/0042 при непрерывной эксплуатации. Проверка блоков ТРЦ реализуется согласно инструкции по проверке аппаратуры ТРЦ ТК1...ТК4, ТК6, ТК8.

Таблица 1

Заголовок регулировочной таблицы

ТРЦ	$L_{\text{общ}}$	$F_{\text{н}}/F_{\text{мод}}$	$U_{\text{Г}}$	$S_{\text{Г}}$	$U_{\text{Ф}}$	$U_{\text{н}}$	$U_{\text{пп}}$ при $R_{\text{и min}}$ и $U_{\text{с}}$		Режим АЛС		Выводы ФПУ	Наличие УТЗ
							мин	макс	$S_{\text{кт}}$	$U_{\text{кт}}$		
	м	Гц	В	ВА	В	В	В	В	ВА	В		

В табл. 1 указано: $L_{\text{общ}}$ – длина рельсовой цепи; $F_{\text{н}}/F_{\text{мод}}$ – значения несущих и модулирующих частот; $U_{\text{Г}}$, $S_{\text{Г}}$ – напряжение и мощность на выходе генератора; $U_{\text{Ф}}$ – напряжение на выходе фильтра; $U_{\text{н}}$ – напряжение на входе рельсовой линии; $U_{\text{пп min}}$ и $U_{\text{пп макс}}$ – наименьшее и наибольшее напряжения на входе путевого приемника (ПП); $S_{\text{кт}}$ и $U_{\text{кт}}$ – мощность и напряжение на выходе кодового трансформатора в режиме АЛС.

Согласно табл. 1, для каждой рельсовой цепи напряжение на выходе генератора и фильтра

и мощность генератора рельсовой цепи должны быть не больше указанного значения, напряжение на путевом приемнике – в пределах минимума и максимума, фактические значения режима АЛС – не меньше указанных [3].

Таким образом, вышеуказанные инструкции регламентируют проверку следующих параметров:

$U_{\text{Г}}$, $U_{\text{Ф}}$, $U_{\text{пп}}$, напряжение на обмотках путевых реле, остаточное напряжение $U_{\text{пп}}$ при наложении шунта, остаточное напряжение на обмотках путевых реле при наложении шунта –

1 раз в квартал; напряжение пульсации постоянного тока электропитания генераторов – 1 раз в 6 месяцев (весной и осенью); сопротивление балласта и шпал – 1 раз в год (весной) [3].

Дополнительно, при замене аппаратуры ТРЦ или кабеля производят вспомогательную проверку параметров, указанных в табл. 36.4 инструкции ЦШ/0042 [1].

Таким образом, глобальный контроль параметров рельсовой цепи предполагает: контроль электрических параметров; расширенную проверку электрических параметров при замене блоков или ремонте кабеля; визуальный осмотр элементов ТРЦ.

Несмотря на указанные сроки, периодичность проверки электрических параметров рельсовой цепи может быть увеличена в 3...4 раза, что создает большую рутинную работу для обслуживающего персонала.

Выбор параметров и критериев оценки технического состояния ТРЦ

Для автоматизации контроля рельсовой цепи предлагается разделить все параметры на основные и дополнительные. К основным параметрам относятся те, контроль которых предусмотрен периодически технологическими картами и инструкциями службы Ш, а к дополнительным – контроль которых осуществляется при регулировке, замене или ремонте аппаратуры ТРЦ.

С учетом вышесказанного, к основным параметрам относятся: напряжения U_r , U_ϕ , $U_{пп}$, напряжение на обмотке путевого реле $U_{прл}$, напряжение пульсации тока электропитания генератора $U_{птг}$, остаточное напряжение на входе путевого приемника при наложении шунта $U_{опп}$, остаточное напряжение на обмотке путевого реле при наложении шунта $U_{опрл}$; а к дополнительным: сопротивление балласта $R_б$; напряжение сети питания $U_{пит}$; напряжение кодового трансформатора $U_{кт}$.

Моделирование прохождения подвижного состава позволяет определить параметры $U_{опп}$ и $U_{опрл}$.

Для организации системы контроля необходимо провести дискретизацию аналоговых электрических параметров тональной рельсовой цепи и определить пороговые значения всех параметров [4, с. 295].

Дискретизация параметров

Непрерывный сигнал напряжения на генераторе U_r описан критерием $k1$, показанным на рис. 1.

Согласно рис. 1, при данном изменении напряжения на выходе генератора критерий $k1$ присваивается только при разрешенном значе-

нии. Если $k1 = 0$, то генератор неисправен либо неотрегулирован (при условии исправности всех остальных элементов РЦ). По инструкции ЦШ/0034, п. 4.7.3 данное напряжение при регулировке устанавливается на 20...30 % ниже значения, указанного в регулировочной таблице, и не должно превышать его.

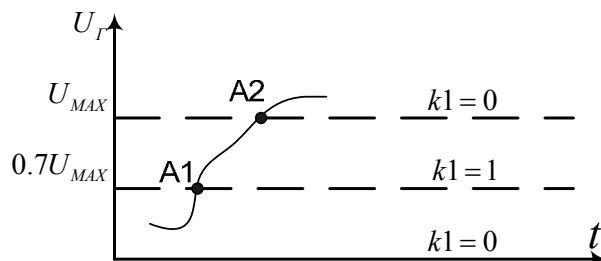


Рис. 1. Критерий напряжения на выходе генератора

Напряжение на выходе фильтра напрямую зависит от напряжения на генераторе и может быть в 4,0...9,5 раз больше (ШЦ/0034, п. 4.7.5). Критерий, описывающий данный параметр, показан на рис. 2.

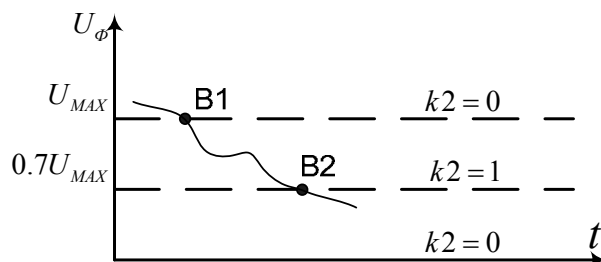


Рис. 2. Критерий напряжения на выходе фильтра

Аналогично рис. 1, параметр $k2 = 1$ при наличии напряжения на выходе фильтра в пределах нормативных значений между точками B1 и B2.

Электрическое напряжение на входе путевого приемника в различных состояниях рельсовой цепи может принимать противоречивые значения (так, низкое напряжение указывает нормальное состояние РЦ в шунтовом режиме или неисправное состояние при нормальном режиме, а допустимо высокое из регулировочной таблицы – исправное состояние нормального режима или наличие подпитки из постороннего источника). Критерий $k3$ (рис. 3) описывает параметр $U_{пп}$.

На рис. 3 показаны границы критерия $k3$, который принимает только одно из показанных значений $k31...k37$, следовательно:

$$\sum_{i=1}^7 k3i = 1. \quad (1)$$

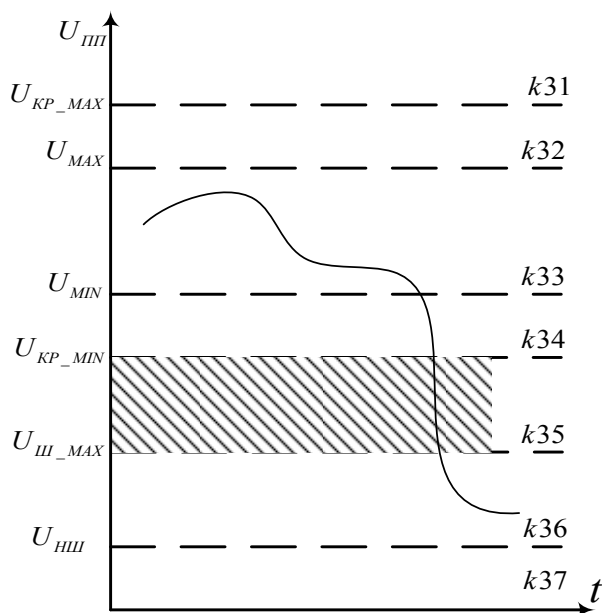


Рис. 3. Критерий напряжения на входе путевого приемника

К примеру, рельсовая цепь работает в нормальном режиме, тогда для $U_{пп}$ $k33 = 1$. Значения $U_{кр_макс}$ и $U_{кр_мин}$ соответствуют указанным в регулировочной таблице, $U_{ш_макс}$ – максимальное напряжение на входе ПП при наличии шунта для любой ординаты размещения поездного шунта, $U_{нш}$ – минимальное напряжение $U_{пп}$ при нахождении на рельсовой линии шунта и наихудших условиях передачи сигнала по РЛ.

Как правило, данные подкритерии характерны для таких ситуаций:

$k31$ – напряжение на входе ПП выше допустимого значения;

$k32$ – приближение значения $U_{пп}$ к верхнему допустимому пределу;

$k33$ – напряжение на входе ПП находится в пределах нормы;

$k34$ – приближение $U_{пп}$ к нижнему допустимому пределу;

$k35$ – недопустимые значения напряжений, возможны только при изменении состояния рельсовой цепи;

$k36$ – напряжение на входе ПП находится в пределах нормативных значений;

$k37$ – напряжение $U_{пп}$ указывает на возможность неисправности рельсовой линии либо другого элемента РЛ.

Значения $k32...k34$ свойственны нормальному, а $k36$ и $k37$ – шунтовому режиму работы рельсовой цепи.

Напряжение на обмотке путевого реле в нормальном режиме работы РЦ должно быть в пределах от 4,0 до 8,0 В (ЦШ/0034, п. 4.7.7) и не более 0,42 В (ЦШ/0034, п. 3.9.8) в шунтовом

режиме работы. Дополнительно, режим работы рельсовой цепи можно проверить по состоянию реле последовательного занятия ПЗ и последовательного освобождения ПО. Критерий $k4$ описывает параметр $U_{прл}$, как показано на рис. 4.

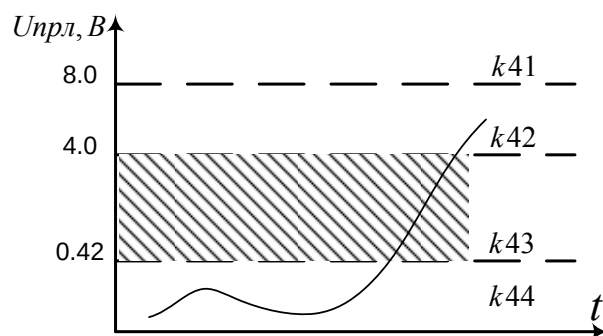


Рис. 4. Критерий напряжения на обмотке путевого реле

На рис. 4 показаны 4 подкритерия, которые описывают все состояния параметра $U_{прл}$, которые соответствуют следующим состояниям: $k41$ – параметр превышает максимально допустимое значение; $k42$ – параметр в пределах нормы (при работе системы в нормальном режиме); $k43$ – недопустимое значение параметра, наблюдается при переходе системы (ТРИЦ) из одного основного режима работы в другой; $k44$ – параметр в пределах нормы (при работе системы в шунтовом режиме).

Как и $k3$, для подкритериев $k41...k44$ справедливо выражение:

$$\sum_{i=1}^4 k4i = 1, \quad (2)$$

которое значит, что в один момент времени может присутствовать только один подкритерий параметра $U_{прл}$.

Напряжение $U_{птэг}$ находится следующим образом:

$$U_{птэг} = \frac{\bar{U}_{тэг} - \underline{U}_{тэг}}{2}, \quad (3)$$

где $U_{тэг}$ – максимальное и минимальное напряжение тока электропитания генератора, соответственно, за один период. Критерий $k5$ описывает параметр $U_{птэг}$, при превышении данного напряжения значения 0,9 В будет равен «0», в остальных случаях – «1».

Остаточные напряжения на входе ПП и на обмотках путевых реле могут быть описаны критериями $k3$ и $k4$ при прохождении поезда с условием того, что реле ПЗ данной рельсовой цепи стали под ток. Тогда нормативным значениям параметров $U_{опп}$ и $U_{прл}$ будут соответствовать значения подкритериев $k36$ (или $k37$) и

k44. Таким образом, количество контролируемых электрических параметров уменьшается за счет объединения критериев контроля. Данное сокращение уменьшает объем периодически выполняемых работ по измерению остаточных напряжений путевого приемника и путевого реле, несмотря на то, что необходимо производить контроль состояния реле последовательного занятия рельсовой цепи.

Как было указано, к дополнительным параметрам контроля относятся сопротивление балласта R_6 , напряжение сети питания $U_{\text{пит}}$ и напряжение кодового трансформатора $U_{\text{кт}}$. Согласно ЦШ/0034 (п. 3.9.11), напряжение на кодовых трансформаторах (КТ) должно быть не менее значения, указанного в регулировочной таблице, следовательно, критерий $k6$, который описывает параметр $U_{\text{кт}}$, должен быть «1» при превышении данного табличного значения и «0» в других случаях. Параметр $U_{\text{кт}}$ считается в пределах нормы, если $k6 = 1$, измерение необходимо проводить в момент занятия рельсовой цепи подвижной единицей.

Напряжение сети питания, согласно ТК 73 и ЦШЕОТ/0012, п. 18.1.8 [2] может допускать изменение в пределах от +5 до -10 % для номиналов 230 и 380 В. Значение критерия $k7$ будет «1» только при соответствии напряжения $U_{\text{пит}}$ нормативному.

Критерий $k8$, описывающий параметр сопротивления балласта, приравнивается к «1» при значении $R_6 \geq 1 \text{ Ом}\cdot\text{км}$, однако определение данного значения может потребовать проведения вспомогательных измерений на станции.

В результате дискретизации автоматически измеряемых параметров полученные значения критериев $k1...k8$ позволяют непрерывно контролировать состояние основных и дополнительных электрических параметров тональной рельсовой цепи.

Описание одиночных неисправностей с помощью критериев подконтрольных электрических параметров ТРЦ

В результате описания критериями всех контролируемых параметров составляется булева функция контроля FK , которая описывает исправное состояние рельсовой цепи. Данная функция принимает значение «1» при нахождении всех подконтрольных параметров в пределах нормы:

$$\begin{aligned} FK = & k1 \cap k2 \cap (k32 \cup k33 \cup k34) \cap \\ & \cap k42 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cup \\ & \cup k1 \cap k2 \cap k36 \cap k44 \cap \\ & \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap k9, \end{aligned} \quad (4)$$

где FK – функция контроля; $k9$ – вспомогательный критерий, указывающий на состояние реле последовательной занятости рельсовой цепи ($k9 = 1$, когда ПЗ находится под током).

Фактически, наиболее часто встречающимися неисправностями являются одиночные неисправности, когда выходит из-под контроля только один параметр [5]. Функции простейших состояний неисправностей ТРЦ сведены в табл. 2, где знаком «х» указывается на то, что данный признак не играет роли при определении этой неисправности.

В табл. 2 функции неисправности указывают на следующее:

$FR1$ и $FR2$ – напряжение на выходе генератора находится вне пределов нормативных значений, необходима регулировка, т.к. возможно невыполнение нормального и шунтового режима работы РЦ, соответственно;

$FR3$ – напряжение на выходе фильтра находится вне нормативных значений из-за неисправности внутренних элементов, необходимо заменить его;

$FR4$ – напряжение на входе путевого приемника выше разрешенного значения, негарантированное выполнение шунтового режима либо выход из строя ПП;

$FR5$ ($FR6$) – напряжение $U_{\text{пп}}$ приближается к верхней (нижней) допустимой границе, возможно невыполнение шунтового (либо нормального) режима;

$FR7$ – напряжение $U_{\text{пп}}$ находится в запрещенной зоне, возможно несоответствие состояния путевого реле состоянию ПП;

$FR8$ – $U_{\text{пп}}$ ниже расчетного значения в шунтовом режиме, возможна неисправность в рельсовой линии;

$FR9$ и $FR10$ – несоответствие показаний реле занятости с напряжением на входе путевого приемника, возможна неисправность схемы реле ПЗ;

$FR11$ – неисправное состояние ПП либо внешняя подпитка путевого реле;

$FR12$ – неисправное состояние путевого приемника;

$FR13$ – неисправна схема питания генератора либо сам генератор;

$FR14$ – возможно невыполнение режима локомотивной сигнализации, необходимо увеличить $U_{\text{кт}}$;

$FR15$ – неисправность в цепи питающей панели (статива);

$FR16$ – неудовлетворительное состояние балласта, возможно невыполнение нормального или АЛС режима.

Функции простейших неисправностей ТРЦ

№ функции неисправности	Критерии								
	$k1$ U_r	$k2$ U_ϕ	$k3$ $U_{пп}$	$k4$ $U_{прл}$	$k5$ $U_{птэг}$	$k6$ $U_{кт}$	$k7$ $U_{пит}$	$k8$ R_6	$k9$ ПЗ
FR1	0	0	k33	k42	1	x	1	1	0
FR2	0	0	k36	k44	1	x	1	1	1
FR3	1	0	x	x	x	x	x	x	x
FR4	x	x	k31	x	x	x	x	x	x
FR5	x	x	k32	x	x	x	x	x	x
FR6	x	x	k34	x	x	x	x	x	x
FR7	x	x	k35	x	x	x	x	x	x
FR8	x	x	k37	x	x	x	x	x	x
FR9	x	x	k33	x	x	x	x	x	1
FR10	x	x	k36	x	x	x	x	x	0
FR11	x	x	x	k41	x	x	x	x	x
FR12	x	x	x	k43	x	x	x	x	x
FR13	x	x	x	x	0	x	x	x	x
FR14	x	x	x	x	x	0	x	x	x
FR15	x	x	x	x	x	x	0	x	x
FR16	x	x	x	x	x	x	x	0	x

Выводы

В результате проведенной работы на основе анализа существующих методов контроля тональных рельсовых цепей проведен выбор параметров и критериев оценки технического состояния рельсовых цепей для дальнейшей разработки методов и средств автоматизированного контроля ТРЦ, что позволит:

- автоматически проверять состояние всех рельсовых цепей перегона;
- уменьшить время на проведение измерительных работ;
- снизить нагрузку работников службы «Ш»;
- проводить сравнительный анализ работы контролируемых ТРЦ;
- проводить автоматический сбор статистических данных и их простую передачу по каналу связи при необходимости на диспетчерский пункт;
- уменьшить время устранения неисправностей;
- организовать систему диспетчерского контроля рельсовых цепей тональной частоты на участке любой длины и сложности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ0042 [Текст] : Затв.: Наказ Держ. адміністрації заліз. трансп. України від 26.04.2006 №347-ЦЗ.
2. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). ЦШЕОТ 0012 [Текст] : Затв.: Наказ Держ. адміністрації заліз. трансп. України від 05.10.1998 №243-Ц.
3. Методичні вказівки з експлуатації тональних рейкових кіл ЦЦ/0034 [Текст] / Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку. – К.: Видавничий дім «Мануфактура», 2004. – 48 с.
4. Сапожников, В. В. Основы технической диагностики [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов ж/д трансп. / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.
5. Сафарбаков, А. М. Основы технической диагностики деталей и оборудования [Текст] : учеб. пособие / А. М. Сафарбаков, А. В. Лукьянов, С. В. Пахомов. – Ч. 1. – Иркутск: ИрГУПС, 2007. – 128 с.

Поступила в редколлегию 07.12.2009.

Принята к печати 23.12.2009.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ВІД ТЯГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

В роботі проведено математичне та схемотехнічне моделювання асинхронного тягового привода з перетворювачами на транзисторах IGBT. Виявлені можливі завади, що виникають при роботі привода. Отримано спектральний склад фазного струму асинхронного тягового двигуна.

В работе проведено математическое и схемотехническое моделирование асинхронного тягового привода с преобразователями на транзисторах IGBT. Определены возможные помехи, возникающие при работе привода. Получен спектральный состав фазного тока асинхронного двигателя.

The mathematical modeling and circuit simulation of asynchronous propulsion drive unit with converters on IGBT transistors have been made. The possible noises appearing during drive's operation have been determined. The spectral composition of phase current of the asynchronous engine has been obtained.

Вступ

На шляху розвитку залізниць України однією з актуальних проблем є впровадження магістралей із прискореним, а в подальшому – із швидкісним рухом поїздів. Звісно, вирішити цю проблему можливо тільки комплексним перетворенням галузі: впровадженням нових типів рухомого складу, побудовою нових колій та застосуванням сучасних систем регулювання руху поїздів.

Істотно підвищити силу тяги і швидкість руху можливо, збільшивши потужність тягових двигунів електровозів, але при цьому все більш напружено працює колекторно-щітковий вузол, стан якого значною мірою визначає тривалість роботи електровоза між оглядами та ремонтами [1]. Підвищення потужності колекторних тягових двигунів не сприяє збільшенню їх надійності та коефіцієнту корисної дії. Тому цілком зрозуміло прагнення створити потужний, але при цьому простий і дешевший асинхронний тяговий двигун (АТД).

Використання АТД в електричній тязі дає можливість реалізувати його чисельні переваги [1], а наявний європейський досвід проектування і роботи ЕРС з названими двигунами повністю це підтверджує [2]. Проте для України ЕРС з АТД є досить новою та мало дослідженою технологією, на заваді впровадження якої може стати проблема її електромагнітної сумісності з існуючими засобами автоматики та сигналізації [3].

Постановка задачі

Метою роботи є розробка математичної моделі для дослідження електромагнітних завад від тягових перетворювачів з АТД та оцінка їх впливу на рейкові кола.

Як відомо, частоту обертання АТД можна регулювати зміною частоти живлячого струму, тому на ЕРС встановлюють перетворювачі частоти на базі напівпровідникових елементів [1]. У ході дослідження було детально розглянуто структуру ЕРС з АТД та визначено, що основним джерелом електромагнітного впливу є тягові перетворювачі, а саме автономні інвертори напруги (АІН) [5].

Тягові системи електричного рухомого складу великої потужності досягли в даний час високого технічного рівня. Сучасний АІН будують на базі IGBT транзисторів [4]. Такі перетворювачі вигідно відрізняються двома особливостями: зниженням витрат і підвищенням надійності та експлуатаційної готовності тягових систем [2]. При формуванні трифазної напруги на електровозі з АТД транзистори інвертора створюють напругу ступінчастої форми в кожній фазі. Частота напруги, що підводиться до АТД, регулюється зміною частоти перемикання цих транзисторів.

При проведенні аналізу АІН доцільно припустити, що відкриття і закриття транзисторів відбувається миттєво, а самі транзистори є ідеальними. Решта всіх елементів є лінійними [5].

Математична модель

Ідеалізований АІН на повністю керованих ключах VT1–VT6 (рис. 1а) - за допомогою ємності C_Φ підключений до джерела напруги U_d , а до його виходів приєднані фази навантаження - АТД. Якщо транзистори VT1–VT6 вмикати і вимикати відповідно до діаграми (рис. 1б), то напруга у навантаженні при з'єднанні фаз двигуна «зіркою» матиме форму ступінчатих прямокутних імпульсів поперемінно позитивної і негативної полярності тривалістю 180° з постійною амплітудою U_d [6].

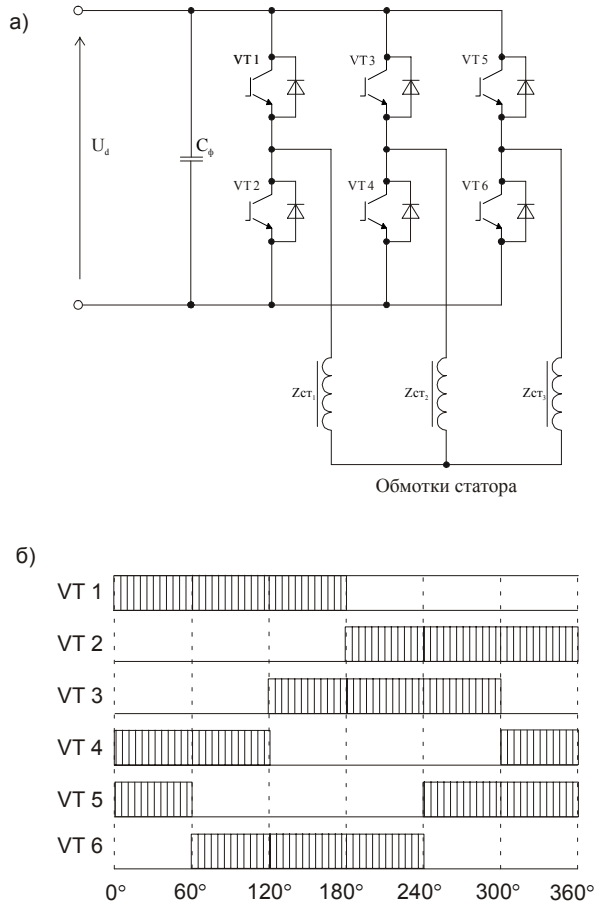


Рис. 1. Ідеалізований АІН (а),
діаграми провідності транзисторів (б)

Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами інвертора встановимо за допомогою комутаційної функції інвертора, яка залежить від тривалості включеного стану транзисторів, схеми з'єднання навантаження і режиму його роботи [2]. Для інвертора напруги при тривалості включеного стану транзисторів 180° і схемі з'єднання «зірка» фазні комутаційні функції f_A , f_B і f_C являють собою ступінчасті кусочно-безперервні функції (рис. 2), за допомогою яких можна визначити фазні напруги:

$$u_A = U_d \cdot f_A; \quad u_B = U_d \cdot f_B; \quad u_C = U_d \cdot f_C, \quad (1)$$

де u_A , u_B , u_C - напруги на обмотках статора двигуна; U_d - напруга на вході інвертора.

Умови балансу потужності на вході та виході інвертора можна записати у вигляді:

$$U_d \cdot I_d = u_A \cdot i_A + u_B \cdot i_B + u_C \cdot i_C, \quad (2)$$

де i_A , i_B , i_C - фазні струми двигуна.

Використовуючи рівняння (1) і (2), можна визначити:

$$I_d = i_A \cdot f_A + i_B \cdot f_B + i_C \cdot f_C. \quad (3)$$

З отриманих фазних комутаційних функцій може бути утворений результуючий вектор комутаційної функції $\vec{f}$ [2]. Цей вектор у інтервалі між комутаціями має фіксовані положення, які співпадають з напрямом просторових осей фаз двигуна і переміщується стрибком у момент комутації на кут $\pi/3$:

$$\vec{f} = \frac{2}{3} \cdot (f_A + a \cdot f_B + a^2 \cdot f_C), \quad (4)$$

де $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, $a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ - одиничні вектори, зміщені на кут $2\pi/3$ та $4\pi/3$, відповідно, по відношенню до дійсної осі.

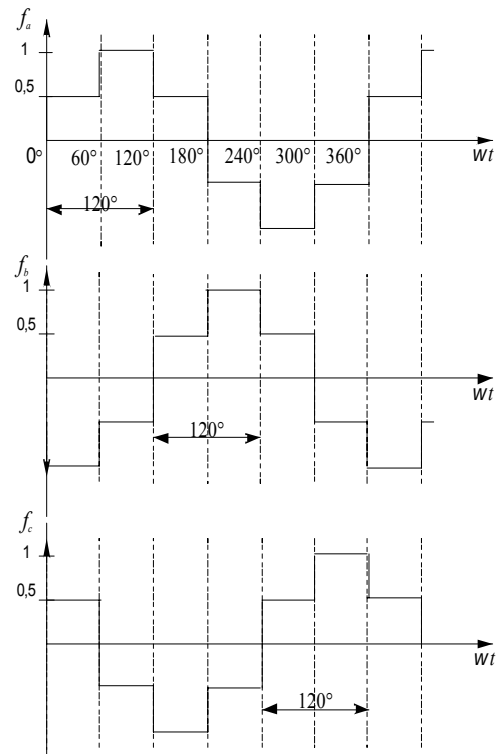


Рис. 2. Фазні комутаційні функції

З (4) визначається, що комутаційна функція відображає алгоритм керування інвертором і при цьому є повністю незалежною від частоти,

яку цей інвертор утворює; початкова фаза вектора комутаційної функції дорівнює $-\pi/3$.

Якщо розглядати вектор $\vec{f}$ як функцію, то можна запропонувати наступний її аналітичний запис:

$$f(t) = e^{-j\frac{\pi}{3}} \cdot e^{j\frac{\pi t}{3}}. \quad (5)$$

Тобто, це є деякий одиничний вектор (чисельне значення його амплітуди неважливе), початкову фазу відображає перший множник у правій частині, другий множник реалізує обертання вектора з часом. Визначимо період цієї функції. З рис. 2 видно, що період кожної з фазних комутаційних функцій включає шість комутацій, які відбуваються на інтервалі від 0 до 360 електричних градусів, отже отримана функція $f(t)$ є періодичною з періодом 2π . Якщо функція є періодичною, то її можна представити у вигляді ряду Фур'є. Для цього обчислимо коефіцієнти ряду за формулою:

$$c_k = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) e^{-jkt} dt, \quad (6)$$

а ряд запишеться так: $s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \cdot e^{jkt}$.

Отриманий ряд дозволяє з'ясувати спектральний склад комутаційної функції. При аналізі спектра обмежимося розгляданням інтервалу, де $k = 0, 1, \dots, 50$.

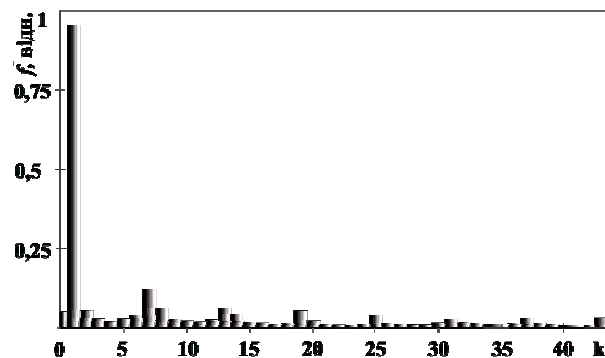


Рис. 4. Спектральний склад комутаційної функції

З рис. 4 видно, що у спектральному складі комутаційної функції домінують гармоніки з кратністю $(6k + 1)$, а основна енергія зосереджена у першій гармоніці. Отже при такому алгоритмі керування у спектральному складі вихідної напруги інвертора також матимуть місце гармонійні складові з кратністю $(6k + 1)$. Це твердження стосується напруги на виході інвертора будь-якої частоти.

Оскільки асинхронний двигун є основним споживачем струму з контактної мережі, то, аналізуючи спектральний склад його фазної напруги, можна робити висновки про вплив на роботу рейкових кіл [3].

З рівняння (1) визначається напруга будь-якої фази. Для прикладу будемо розглядати напругу у фазі A , яка дорівнює: $u_A = U_d \cdot f_A$. При розгляданні фазної напруги будемо вважати, що постійна напруга U_d немає сторонніх гармонійних складових.

При аналізі звернемо увагу на наступні речі. По-перше, період фазної комутаційної функції за часом залежить від частоти вихідної напруги інвертора. Нехай частота напруги на виході інвертора дорівнює f_1 , тоді період напруги (а отже і фазної комутаційної функції) дорівнює $T = f_1^{-1}$. Введемо позначення: $l = T/2$.

По-друге, з рис. 2 видно, що фазні комутаційні функції є непарними, тому їх ряди Фур'є (а також і ряди фазних напруг) матимуть тільки синусні складові b_k . Якщо розглядати інтервал $(-l, l)$, то на ньому f_A є непарною періодичною функцією з періодом $2l$. Тоді коефіцієнти Фур'є b_k для ряду фазної напруги будуть знаходитися за формулою:

$$b_k = \frac{2}{l} \int_0^l U_d f_A \sin\left(\frac{k\pi t}{l}\right) dt. \quad (7)$$

А ряд Фур'є для напруги фази A матиме наступний вигляд:

$$u_B = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(kt). \quad (8)$$

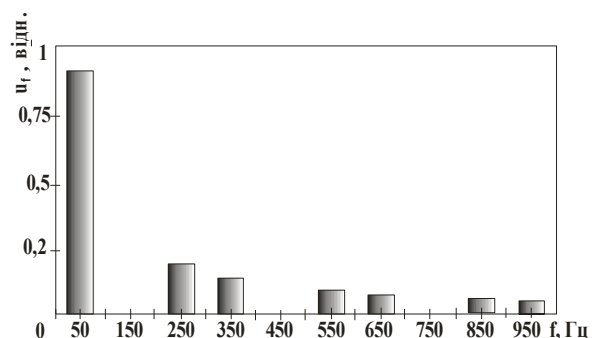


Рис. 5. Спектр фазної напруги асинхронного двигуна

На рис. 5 зображено спектр фазної напруги асинхронного двигуна (у відносних одиницях) при частоті вихідної напруги інвертора $f_1 = 50$ Гц. З рис. 5 видно присутність гармонік з кратністю $(6k \pm 1)$, що обумовлено особливостями комутаційної функції. Основна енергія

сконцентрована у першій гармоніці, яка відповідає частоті 50 Гц. Це є вихідна частота інвертора, яка формує магніторушійну силу в асинхронному двигуні і визначає швидкість обертання ротора. Це підтверджує висновки, зроблені вище стосовно комутаційної функції інвертора.

Рівень найближчої з вищих гармонік (250 Гц) приблизно у 5 разів нижче за рівень основної гармоніки (50 Гц). Рівень інших гармонік ще нижчий. Частотні складові, які присутні у спектрі фазної напруги за цих умов, не потрапляють у діапазон смуг сигнальних частот і тому не нормуються. Виняток становить лише гармоніка 4550 Гц ($k = 91$), яка потрапляє у смугу сигнальної частоти тонального рейкового кола (ТРК-4) з частотою 4545 Гц. Але рівень цієї гармоніки складає приблизно 1 % від рівня основної гармоніки 50 Гц.

Схемотехнічне моделювання

Для проведення схемотехнічного моделювання був використаний пакет аналізу електричних кіл OrCAD Pspice. Було створено модель АІН на транзисторах IGBT, який працює при напрузі проміжної ланки 3000 В. Для спрощення напруга проміжної ланки вважається вільною від сторонніх завад та моделюється джерелом постійної напруги. Навантаженням АІН є обмотки статора АТД, що моделюються індуктивним та активним опором [6]. Стандартні моделі IGBT транзисторів не задовольняють умовам роботи тягового перетворювача, тому за допомогою редактора моделей було створено власну модель. Параметри моделі IGBT визначалися з характеристик транзистора, що були побудовані у редакторі моделей [7].

Отримана модель, за допомогою пристрою керування, дозволяє змінювати вихідну частоту АІН, тим самим моделюючи різну швидкість локомотива.

На рис. 6 наведено форму струму фази b , вище на ньому представлено форму напруги цієї ж фази, яка повторює форму фазної комутаційної функції (рис. 2).

Оскільки очікуваний спектральний склад фазної напруги та струму буде містити гармоніки з кратністю $(6k \pm 1)$, то для моделювання була обрана швидкість руху локомотива 60 км/год. При цьому сьома гармоніка буде ≈ 420 Гц, а тринадцята ≈ 780 Гц. Тобто, ці гармоніки будуть потрапляти у смугу сигнальних частот ТРК. За допомогою пакету Pspice отримано спектральний склад фазного струму (рис. 7а), на рис. 7б наведено частину спектру для частот тонального діапазону.

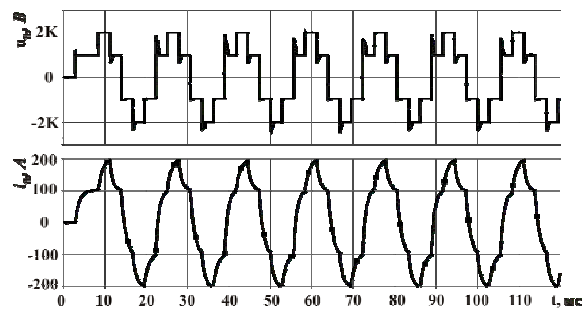


Рис. 6. Форми фазних напруги та струму

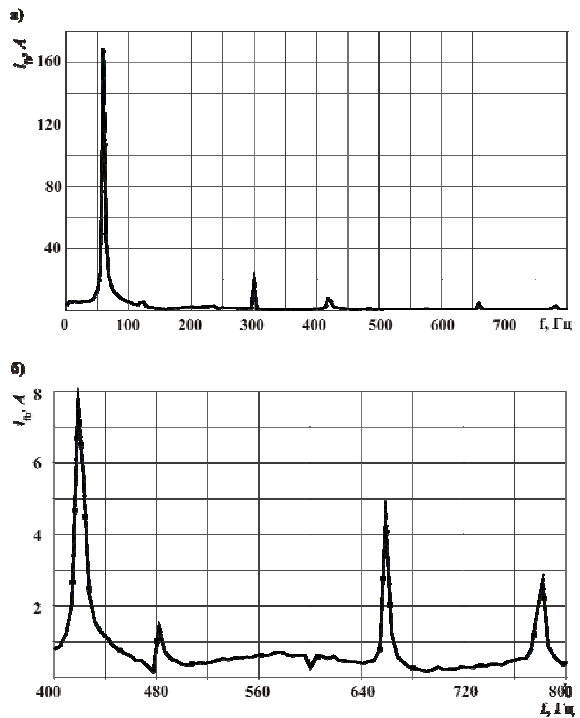


Рис. 7. Спектральний склад фазного струму

З рис. 7 видно, що у спектральному складі фазного струму АТД домінують гармоніки з кратністю $(6k \pm 1)$, а основна енергія зосереджена у першій гармоніці. Тобто результати схемотехнічного моделювання збігаються з результатами математичного, що дає можливість стверджувати про достовірність отриманих даних. Спектральний аналіз фазного струму показує, що при швидкості руху локомотива з АТД 60 км/год у зворотному тяговому струмі будуть присутні наступні гармоніки: 420, 480 та 780 Гц (табл. 1).

Значення тягового струму у смузі цих частот виходять за межі норми, тобто робота АІН створює небажаний вплив на роботу ТРК-3. Рівень завад у смузі сигнальних частот ТРК-4 знаходиться в нормі, отже вплив на їх роботу відсутній. Окрім цього рівень зворотного тягового струму в діапазоні сигнальних частот кодових рейкових кіл також перевищує нормати-

вні показники. Зокрема, рівень тягового струму на частоті 25 та 50 Гц досягає значень, які створюють небезпечний вплив.

Таблиця 1

f , Гц	i_{fb} , А	f , Гц	i_{fb} , А
25	5,48	780	2,335
50	12,979	4545	0,05919
420	6,817	5000	0,04939
480	0,914	5555	0,0475

Висновки

В роботі розроблено математичну модель для дослідження електромагнітних завад від тягових перетворювачів, проведено математичне та схемотехнічне моделювання тягового перетворювача локомотива з АТД. Запропоновані моделі дозволяють визначати гармонічний склад зворотного тягового струму в рейкових лініях від локомотивів з АТД при різних режимах ведення локомотиву. Збіг результатів моделювання з вимірними значеннями дає можливість зробити висновок про адекватність розробленої моделі.

При розгляді можливого впливу напруги асинхронного двигуна на роботу рейкових кіл треба звернути увагу, що перша гармоніка, частота якої залежить від частоти вихідної напруги інвертора, а отже від швидкості обертання ротора асинхронного двигуна, досягає великих значень порівняно з напругою спрацювання колійного приймача. При певних швидкостях руху електровоза деякі гармоніки його зворотного струму будуть потрапляти у смугу сигнальних частот рейкових кіл, створюючи заважа-

ючий і навіть небезпечний вплив. Рівень цих гармонік у рейкових лініях буде залежати від: рівня постійної напруги проміжної ланки, потужності асинхронних двигунів електровозу, первинних та вторинних параметрів рейкової лінії, кількості локомотивів на тяговій ділянці та швидкості їх руху, погодних умов та інших дестабілізуючих факторів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / под ред. Н. А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
2. Современный трехфазный тяговый привод - состояние и перспективы [Текст] // W.-D. Weigel. Glasers Annalen, 2002 (Tagungsband SFT, Graz).
3. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] : учеб. для вузов ж/д трансп. / М. П. Бадер. – М: УМК МПС, 2002. – 638 с.
4. Современная силовая электроника в схемах тяговых преобразователей [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 4.
5. Михальченко, Г. С. Моделирование переходных режимов в асинхронном тяговом приводе локомотивов [Текст] / Г. С. Михальченко, Г. А. Федяева, А. И. Власов // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 4. – С. 42-47.
6. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин [Текст] : учеб. для вузов по спец. «Электрич. Машины» / И. П. Копылов. – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.
7. Кеонун, Дж. OrCAD Pspice. Анализ электрических цепей [Текст] / Дж. Кеонун. – СПб.: Питер, 2008. – 640 с.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 18.01.2010.

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ПЛАНОВ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Розроблено методику побудови масштабних планів колійного розвитку великих станцій, що складаються з декілька парків, а також розташованих у кривих. Наведено процедуру автоматизованого розрахунку корисних довжин колій станції, що використовується при побудові планів.

Разработана методика построения масштабных планов путевого развития крупных станций, состоящих из нескольких парков, а также расположенных на кривых. Приведена процедура автоматизированного расчета полезных длин путей станции, используемая при построении планов.

The technique for construction of scale plans of the track development of large stations consisting from a few parks and the ones located on curves is developed. The procedure of automated calculation of useful lengths of the station tracks, used at the construction of plans, is given.

Пропускная и перерабатывающая способность железнодорожных станций и узлов, эффективность их эксплуатации напрямую зависят от оптимальности решений, принятых при проектировании. Существенное повышение качества проектирования, увеличение производительности труда проектировщиков может быть достигнуто в результате внедрения новой информационной технологии, основой которой является система автоматизированного проектирования (САПР). Одной из основных проблем теории САПР является разработка эффективных математических моделей проектируемых объектов и алгоритмов выполнения проектных процедур. Эта задача является особенно важной для проектирования железнодорожных станций и узлов, что объясняется высокой стоимостью их строительства и реконструкции, длительным сроком эксплуатации, невозможностью построения физических моделей.

При проектировании железнодорожных станций и узлов наиболее массовыми и трудоемкими являются расчеты соединений путей, что обусловило разработку программ и использование ЭВМ для выполнения этих расчетов.

В указанной задаче существует две основные проблемы: формализация схемы станции и ее исходных параметров для ввода в ЭВМ; разработка алгоритма анализа модели для расчета выходных параметров.

Вопросам формализации схем станций для автоматизации расчетов и проектирования посвящено достаточно большое число научных работ [1 – 5]. В указанных работах разработаны методы представления схем станций в виде оп-

ределенных структур, содержащих информацию о плане станции и ее элементов. В указанных работах необходимо отметить системный подход к проектированию, позволяющий выполнить расчет координат точек станции, построение ее масштабного плана, а также оценку технологических показателей на основе имитационного моделирования. К недостаткам работ следует отнести высокую сложность и трудоемкость подготовки и ввода в ЭВМ формализованных данных о схеме станции.

В работах [5, 6] предложена система структурно-параметрических моделей станций (входная, внутренняя и выходная модели), а также алгоритмы выполнения проектных процедур, которые позволяют автоматизировать процесс синтеза путевого развития станций на всех его этапах. В основу моделей положено представление схем станций в виде ориентированных графов. При этом в указанных работах не решена задача формализации моделей крупных станций, состоящих из нескольких парков, в том числе расположенных на кривых.

В этой связи в данной статье поставлена задача усовершенствования структурно-параметрических моделей, предложенных в [5, 6], с целью формализованного представления и автоматизированного проектирования крупных железнодорожных станций, а также станций, расположенных на кривых.

Внутренняя модель станции включает каноническую модель и модель ее горизонтальных путей. Каноническая модель отображает топологическую структуру станции и представляет собой ориентированный граф $G = (V, E)$, в ко-

тором выделено три подмножества вершин: V^S , V^C и V^W . Вершины $v_i \in V^S$ являются центрами стрелочных переводов (ЦП), вершины $v_j \in V^C$ – вершинами углов поворота кривых (ВУ), вершины $v_k \in V^W$ – концами путей (КП). Дугам графа $e = (v, u)$ соответствуют участки путей, соединяющих вершины. Принято, что все дуги ориентированны слева направо.

Горизонтальные пути станции представлены вершинами древовидного графа $D = (W, H)$, ребрам которого поставлены в соответствие заданные междупутья.

Построение плана путевого развития сложных станций осуществляется путем объединения отдельных базовых элементов (блоков) в единую интегрированную модель в некоторой глобальной системе координат. Для включения очередного блока в общую совокупность необходимо преобразовать координаты его вершин из локальной системы координат в глобальную, а также выполнить сопряжение соответствующих путей с помощью круговых кривых.

Для выполнения преобразований координат удобно представить все характерные точки блока однородными координатами [7], которые точку $P(x, y)$ описывают трехэлементной вектор-строкой $[x \ y \ 1]$. Тогда преобразование координат точки P осуществляется умножением вектора точки на матрицу преобразования C размером 3×3 :

$$[x' \ y' \ 1] = [x \ y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

Матрица преобразования C , может быть получена путем умножения матриц трех элементарных преобразований:

- перенос опорной точки $P_0(x_0, y_0)$ в начало координат локальной системы Σ_i ;
- поворот локальной системы Σ_i на угол φ_i ;
- перенос начала координат локальной системы Σ_i в точку $P_0(X_0, Y_0)$ глобальной системы.

Указанная матрица преобразования может быть получена умножением матриц данных элементарных преобразований и имеет вид:

$$C = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ A & B & 1 \end{bmatrix}$$

где $A = -x_0 \cos \varphi + y_0 \sin \varphi + X_0$;

$B = -x_0 \sin \varphi - y_0 \cos \varphi + Y_0$.

Структура последнего столбца матрицы позволяет упростить фактически выполняемые

действия при преобразованиях координат:

$$\begin{aligned} x' &= c_{11}x + c_{21}y + c_{31}; \\ y' &= c_{12}x + c_{22}y + c_{32}, \end{aligned} \quad (1)$$

где c_{ij} – коэффициенты результирующей матрицы преобразования C , которые вычисляются однократно для всех точек блока;

x, y – координаты опорной точки.

Расчет координат (1) выполняется для всех вершин блока; при этом координаты базовой вершины соответствуют координатам (X, Y) точки размещения блока на общем плане станции.

При проектировании плана путевого развития станции из отдельных базовых элементов, оси путей объединяемых блоков могут располагаться под углом друг к другу или на одной прямой. В первом случае необходимо выполнить сопряжение соответствующих путей, т.е. определить точки их пересечения (ВУП) и параметры сопрягающих круговых кривых.

Для определения точки пересечения каждый из пары сопрягаемых путей представляется параметрическим уравнением $P(t)$ прямой, проходящей через некоторые две точки (вершины) $a = (x_a, y_a)$ и $b = (x_b, y_b)$ этого пути:

$$P(t) = \begin{cases} x_a + t(x_b - x_a); \\ y_a + t(y_b - y_a), \end{cases} \quad (2)$$

где t – вспомогательный параметр.

Параметр t может принимать любое значение из множества действительных чисел $t \in R$. Если значения параметра t ограничены диапазоном $[0; 1]$, то уравнение (2) описывает отрезок ab , принадлежащий прямой линии $\overline{ab}$.

Учитывая, что вершина КП имеет единственную входящую или исходящую дугу, необходимо на графе G определить другую вершину, инцидентную этой дуге, и с ее помощью составить уравнение прямой (2).

С использованием теоремы о скалярном произведении векторов [7] получено выражение для определения значения параметра t , соответствующего точке пересечения $v(t)$ двух прямых линий $\overline{ab}$ и $\overline{cd}$:

$$t = \frac{\mathbf{q}(a - c)}{\mathbf{q}(b - a)},$$

где $\mathbf{q}$ – вектор, перпендикулярный прямой $\overline{cd}$.

Если $\mathbf{q} \cdot (b - a) = 0$, то вектор $\mathbf{q}$ перпендикулярен прямой $\overline{ab}$. Это свидетельствует о том, что прямые $\overline{ab}$ и $\overline{cd}$ не имеют точки пересече-

ния, т.е. параллельны или совпадают. В противном случае (прямые $\overline{ab}$ и $\overline{cd}$ пересекаются) координаты точки пересечения v (см. рис. 1) можно определить путем подстановки рассчитанного значения параметра t в выражение (2).

Для определения угла поворота сопрягающей кривой используется выражение:

$$\varphi = \theta_{ev} - \theta_{fv},$$

где θ_{ev} , θ_{fv} – соответственно углы наклона отрезков ev и fv (см. рис. 1)

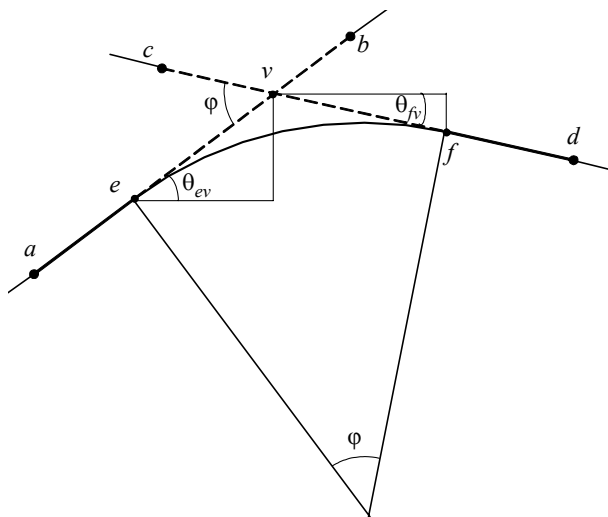


Рис. 1. Схема определения угла поворота кривой

В свою очередь, угол наклона некоторого отрезка ab определялся как:

$$\theta_{ab} = \arcsin \left(\frac{y_b - y_a}{\sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}} \right).$$

После определения угла поворота кривой рассчитываются ее остальные параметры – тангенс T и длина K кривой (см. рис. 2, а).

При объединении блоков, оси сопрягаемых путей которых лежат на одной прямой, угол поворота $\varphi = 0$ и точки пересечения определять не нужно. В этом случае необходимо соединить соответствующие вершины отрезком прямой (см. рис. 2, б).

В результате объединения блоков формируется модель интегрированного блока, которая имеет такую же структуру и может быть использована для создания более сложных объектов. С этой целью формируется ориентированный граф G с перенумерованными вершинами, среди которых выделяется базовая вершина v_6 ; созданному таким образом блоку присваивается уникальный номер (имя) блока N_6 .

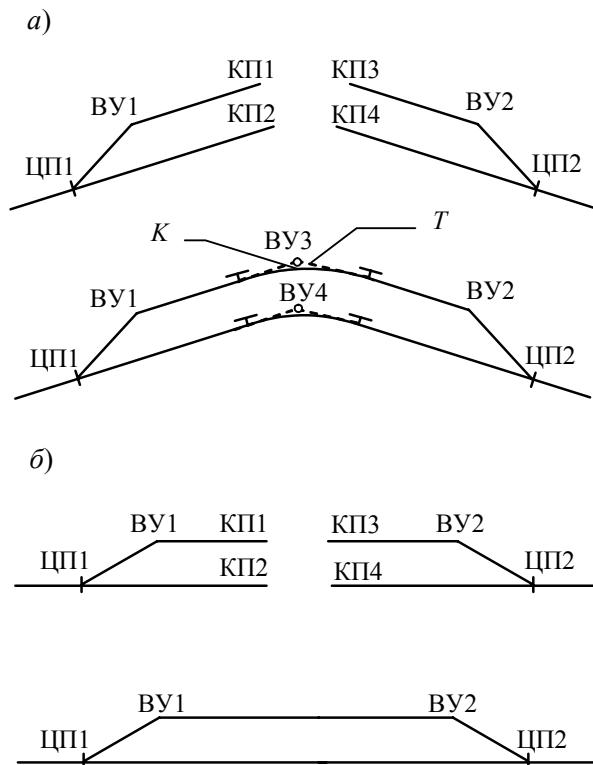


Рис. 2. Объединение блоков: а) расположенных под углом друг к другу; б) расположенных на одной прямой

При объединении блоков в интегрированный блок необходимо обеспечить потребную полезную длину всех станционных путей. Формально данное требование можно выразить условием

$$L_{фпд i} \geq L_{ппд i}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

где $L_{фпд i}$, $L_{ппд i}$ – соответственно, фактическая и потребная полезные длины i -го пути;

n – число путей станции.

При этом, учитывая особенности конструкции горловин станций, условие (3) для части путей будет являться равенством ($L_{фпд i} = L_{ппд i}$), а для большинства путей – строгим неравенством ($L_{фпд i} > L_{ппд i}$). В этой связи при проектировании станций необходимо выделить пути с минимальной полезной длиной, для которых выполняется равенство $L_{фпд i} = L_{ппд i}$, обеспечить им потребную полезную длину, после чего определить полезные длины остальных путей.

Сложность данной задачи заключается в том, что путей с минимальной полезной длиной на станции может быть несколько (например, при наличии нескольких парков). Кроме того, правильный выбор пути с минимальной полезной длиной осуществить без выполнения расчетов координат элементов станции (парка) не представляется возможным; в то же время для

выполнения указанных расчетов необходимо предварительно установить требуемые длины путей.

Автоматизированное решение этой противоречивой задачи для отдельного парка станции может быть выполнено в четыре этапа:

- 1) определение координат точек одной из горловин парка;
- 2) определение координат точек другой горловины при заданной длине одного из путей парка (расчетного пути);
- 3) расчет полезных длин путей парка;
- 4) определение требуемого изменения длины расчетного пути и повторный расчет координат всех точек парка.

Для станций сложной конструкции, состоящих из нескольких групп путей (парков) с различными требуемыми полезными длинами, расчет выполняется последовательно для каждой группы путей, которые выделяются автоматически.

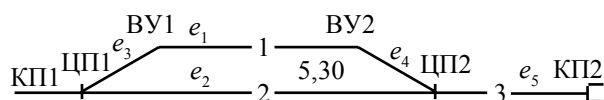
Фактические полезные длины путей парка могут быть определены при известных координатах точек обеих его горловин; при этом для автоматизации расчетов необходимо разработать методику решения следующих задач:

- поиск на ориентированном графе станции дуг, соответствующих путям, для которых должна быть определена полезная длина (в дальнейшем – пути);
- поиск вершин, ограничивающих конструктивную длину пути;
- поиск на конструктивной длине пути точек, ограничивающих его полезную длину в заданном направлении;
- определение численного значения полезной длины пути.

Идентификация дуг графа, являющихся путями, осуществляется на основе анализа специального параметра μ , который присваивается во входной модели станции каждой дуге для определения метода расчета длины соответствующего отрезка. Путями считаются дуги, у которых данный параметр имеет некоторое значение, определяющее необходимость расчета полезной длины пути в соответствующем направлении. Так, в результате поиска на графе, представленном на рис. 3, дуги e_1 , e_2 и e_5 будут классифицированы как станционные пути, поскольку для них $\mu_i \neq 0$.

После определения дуги e_n , являющейся станционным путем или его частью, необходимо найти две вершины графа, ограничивающие его конструктивную длину. Данными вершинами могут быть только ЦП и КП; поиск вершин данного типа производится в обе стороны

от концов найденной дуги e_n . Так, на графе, представленном на рис. 3, для дуги e_2 поиск не производится, поскольку ее начальная и конечная вершины являются ЦП; для дуги e_1 будут найдены связанные с ней дуги e_3 и e_4 и, соответственно, начальная (ЦП1) и конечная (ЦП2) вершины, определяющие конструктивную длину пути 2. Численное значение конструктивной длины пути определяется суммированием длин входящих в нее элементов (отрезков, кривых), которые соответствуют входящим в нее дугам.



№ пути	дуги	μ
1	$e_3 = (\text{ЦП1}, \text{ВУ1})$	0
	$e_1 = (\text{ВУ1}, \text{ВУ2})$	μ_1
	$e_4 = (\text{ВУ2}, \text{ЦП2})$	0
2	$e_2 = (\text{ЦП1}, \text{ЦП2})$	μ_2
3	$e_5 = (\text{ЦП2}, \text{КП2})$	μ_3

Рис. 3. Представление путей на ориентированном графе

Полезная длина станционного пути может ограничиваться сигналом, предельным столбиком, упором или стыком рамного рельса стрелочного перевода (ЦП). Методика определения положения предельных столбиков и сигналов на основе математической модели путевого развития в виде ориентированного графа приведена в [9].

Если границей конструктивной длины пути является упор, то координаты соответствующей вершины графа ограничивают и полезную длину этого пути. В случае если границей конструктивной длины пути является ЦП ($v_i \in V^S$), для определения вершины, ограничивающей его полезную длину, необходимо предварительно установить направление z_i входа этого пути в стрелочный перевод v_i [9]. Далее в списке сигналов производится поиск сигнала g , для которого выполняются условия:

$$\begin{cases} v_g = v_i; \\ z_g = z_i. \end{cases}$$

Если такой сигнал найден, то полезная длина пути определяется положением данного сигнала; в противном случае при $z \in [0, 1]$ полезная длина будет ограничиваться предельным столбиком (ПС), а при $z = 2$ – изолированным стыком рамного рельса стрелочного перевода v_i .

Окончательно фактическая полезная длина $L_{\text{фпд}}$ станционного пути рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{фпд}} = L_{\text{к}} - l_{\text{л}} - l_{\text{п}},$$

где $L_{\text{к}}$ – конструктивная длина пути;

$l_{\text{л}}, l_{\text{п}}$ – расстояния между точками, ограничивающими конструктивную и полезную длины пути, соответственно, слева и справа.

Значения величин $l_{\text{л}}, l_{\text{п}}$ в зависимости от параметра z могут быть равны элементу a стрелочного перевода, либо расстоянию $l_{\text{пс}}$ от ЦП до ПС (расстоянию $l_{\text{св}}$ от ЦП до сигнала при его наличии); если конструктивная длина пути ограничивается упором, то соответствующее значение $l_{\text{л}}$ или $l_{\text{п}}$ равно нулю.

Определение потребных полезных длин путей станции производится в комплексе с расчетом координат точек плана; решение данной задачи осуществляется в следующей последовательности.

На **первом** этапе на базе оргграфа станции G для одной горловины парка строится остовное дерево $U = (V, E_U)$ с корнем в вершине v_0 , являющейся опорной точкой плана. В дерево U включаются те дуги, которые представляют отрезки с известными длинами, определенными в процессе расчета плана станции; при этом дуги, соответствующие путям заданной длины ($\mu > 0$), в дерево U не включаются. Далее, начиная с опорной точки, выполняется расчет координат точек плана, соответствующих вершинам построенного остовного дерева. Так, на графе станции, представленном на рис. 4, а, будет построено остовное дерево с корнем в вершине ЦП1 и определены координаты точек КП1, ЦП2 и ВУ1 (см. рис. 4, б).

На **втором** этапе среди вершин построенного остовного дерева выделяется вершина, исходящая дуга которой является путем с заданной во входной модели расчетной длиной $L_{\text{р}}$ (расчетный путь). Так, например, на графе рис. 4, б выделена вершина ЦП1 с исходящей дугой ЦП1–ЦП4 (расчетный путь 1), определяющей полезные длины путей парка 1. Найденная дуга включается в остовное дерево U .

Далее продолжается построение остовного дерева, в которое включаются все новые дуги исходного графа с известными длинами, связанные с дугой расчетного пути. Таким образом, на втором этапе будет построено остовное дерево U , которое включает все вершины обеих горловин парка станции (в рассматриваемом примере на рис. 4, в – вершины ЦП1, ЦП2, ЦП3, ЦП4, ЦП5 и ВУ1, ВУ2, ВУ3). После построения дерева в завершение второго этапа

определяются координаты точек, соответствующих всем вновь включенным вершинам (вершины – ЦП4, ВУ3, ЦП5, ЦП3, ВУ2).

На **третьем** этапе производится поиск на графе дуг, являющихся путями (рис. 4, в, дуги ЦП1–ЦП4, ЦП2–ЦП3 и ЦП2–ВУ1–ВУ2–ЦП3), и по установленным координатам точек плана станции определяются полезные длины соответствующих путей (пути 1 – 3).

На **четвертом** этапе осуществляется корректирование полезных длин всех путей парка таким образом, чтобы фактическая полезная длина каждого пути была не менее потребной полезной длины этого пути ($L_{\text{фпд}i} \geq L_{\text{ппд}i}$).

В этой связи для каждого из путей парка производится расчет отклонения ΔL_i фактической полезной длины от потребной $\Delta L_i = |L_{\text{ппд}} - L_{\text{фпд}i}|$. Очевидно, что максимальное отклонение $\Delta L_{\text{max}} = \max \{\Delta L_1, \dots, \Delta L_n\}$, где n – число путей в парке, определяет необходимое увеличение длины всех путей группы, обеспечивающее требуемую полезную длину этих путей.

В завершение четвертого этапа увеличиваются на ΔL_{max} значения координат точек плана станции, определенных на втором этапе, и, соответственно, полезные длины путей группы.

В дальнейшем на графе станции осуществляется поиск новых вершин, включенных в построенное остовное дерево, с исходящими дугами, которые являются путями, не включенными в дерево. Такими на графе (см. рис. 4, в) являются вершина ЦП5 с исходящей дугой ЦП5–ЦП6 (путь 4) и вершина ВУ3 с исходящей дугой ВУ3–ВУ4. Наличие таких вершин свидетельствует о существовании в графе еще одной группы взаимосвязанных путей, расчеты для которой также выполняются в четыре этапа изложенным выше порядком.

Отсутствие подобных вершин в полученном остовном дереве означает завершение его построения и окончание всех расчетов.

В результате выполненных теоретических исследований были разработаны методика построения структурно-параметрических моделей крупных станций, а также соответствующие программные модули, встроенные в типовую оболочку автоматизированного проектирования AutoCAD. Как показала проверка, использование модернизированного пакета обеспечивает существенное сокращение времени построения масштабных планов путевого развития железнодорожных станций. Это позволяет значительно увеличить число рассматриваемых вариантов развития станций и, тем самым, существенно повысить качество проектирования.

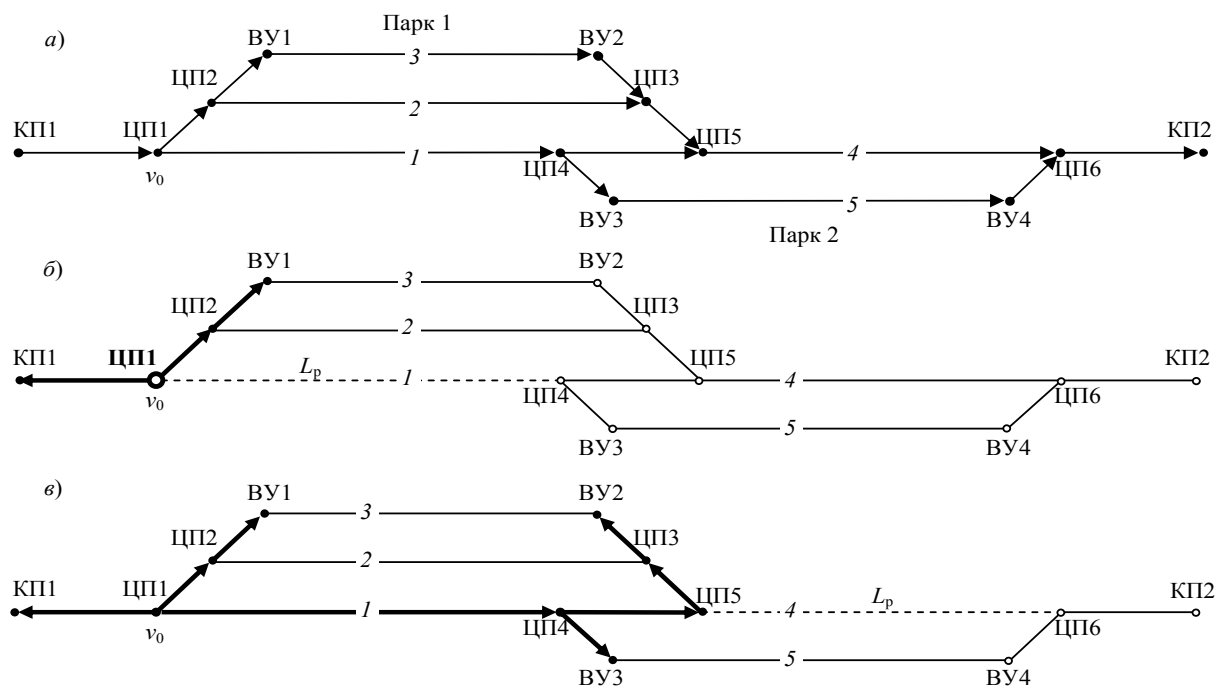


Рис. 4. Последовательность расчета полезных длин путей:
 а) исходный граф станции; б) остовное дерево для одной горловины парка с корнем в опорной вершине v_0 ;
 в) остовное дерево для расчета длин группы путей 1–3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Алаев, М. М. Формализация элементов схем станций для расчетов на ЭВМ [Текст] / М. М. Алаев // Проблемы наращивания мощности станций и узлов: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 765. – М.: МИИТ, 1985. – С. 58-59.
- Корешков, В. Н. Способ представления схемы сортировочной станции в ЭВМ [Текст] / В. Н. Корешков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: межвуз. сб. науч. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1985. – С. 91-96.
- Чернов, В. Н. Формализация схем железнодорожных станций для графического отображения на ЭВМ [Текст] / В. Н. Чернов, В. С. Пивоваров // Вопросы совершенствования системы автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 214/54. – Ташкент: ТашИИТ, 1989. – С. 8-13.
- Головнич, А. К. Автоматизированное проектирование железнодорожных станций [Текст] / А. К. Головнич. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 202 с.
- Бобровский, В. И. Структурные модели путевого развития железнодорожных станций для автоматизированного проектирования [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – № 3. – С. 58-63.
- Бобровский, В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций [Текст] : автореф. дисс. ... докт. техн. наук / Бобровский Владимир Ильич; Днепрпетр. нац. ун-т железнодорожного трансп. – Д., 2002. – 36 с.
- Фоли, Дж. Основы интерактивной машинной графики [Текст] : в 2-х кн. / Дж. Фоли, А. вэн Дэм. – Кн. 1. – М.: Мир, 1985. – 368 с.
- Майкл, Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ [Текст] / Ласло Майкл. – М.: БИНОМ, 1997. – 304 с.
- Бобровский, В. И. Определение положения предельных столбиков и сигналов при автоматизированном проектировании железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Залізн. трансп. України. – 2004. – № 4. – С. 14-16.

Поступила в редколлегию 14.07.2009.

Принята к печати 23.07.2009.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ІНВЕСТИВАННЯ

Запропоновано алгоритм та програма розв'язку завдання раціонального інвестування.

Предложены алгоритм и программа решения задачи рационального инвестирования.

The algorithm and computer software for solution of a problem of rational investment are proposed.

У розрахунку основних характеристик господарювання важливе місце займають параметри зовнішньої дії.

Реалізація зовнішніх дій здійснюється через певний набір заходів.

Позначимо через $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ набір заходів, назви яких позначаємо символами ω_i , $i = \overline{1, n}$.

Реалізація кожного заходу вимагає певних витрат засобів (фінансів) $z(\omega_i)$ і витрат часу $t(\omega_i)$, $i = \overline{1, n}$.

Вважаємо, що якщо захід ω_i буде упроваджено (реалізовано), то це приведе до отримання прибутку в розмірі $p(\omega_i)$.

Можливості особи (органу), що ухвалює рішення, є, як правило, обмеженими у фінансовому сенсі; останнє означає, що витрати засобів не повинні перевершувати наперед заданої величини D .

1. Постановка задачі раціонального інвестування

Нехай $A \subset \Omega$ – деякий набір заходів, тоді прибуток може бути розрахований за формулою:

$$P(A) = \sum_{\omega \in A} p(\omega). \quad (1)$$

Якщо всі заходи з множини A починають реалізовуватися одночасно, тоді час повної реалізації заходів з набору A обчислюється як

$$T(A) = \max_{\omega \in A} \{t(\omega)\}. \quad (2)$$

Фінансові витрати на реалізацію заходів із множини A складають

$$Z(A) = \sum_{\omega \in A} z(\omega). \quad (3)$$

І оскільки ми обмежені у фінансах, то зна-

чення $Z(A)$, обчислюване за формулою (3), повинне задовольняти нерівності:

$$Z(A) \leq D. \quad (4)$$

Щодо множини A припускаємо, що це може бути будь-яка підмножина множини Ω . Іншими словами, якщо $\mathfrak{R}(\Omega)$ – набір всіх підмножин множини Ω , то до обмеження (4) приєднаємо умову:

$$A \in \mathfrak{R}(\Omega). \quad (5)$$

Таким чином, приходимо до задачі визначення такого набору заходів, що задовольняє обмеженням (4) і (5), щоб прибуток $P(A)$ був би якомога більше, а час $T(A)$ був би якомога менше.

Сформульована задача є задачею векторної оптимізації за двома показниками [1] і формально може бути записана у вигляді:

$$\begin{pmatrix} -P(A) \\ T(A) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (6)$$

за умов (4) і (5).

Відзначимо, що задача (6) сформульована з використанням поняття функції множини [2], що накладає певні труднощі при її рішенні.

Перш за все дамо визначення понять рішення задачі векторної оптимізації (6).

Вирішення 1. Набір заходів A називатимемо *ефективним*, якщо будь-яка зміна (варіація) його приводить до зменшення $P(A)$ – прибутків – або до збільшення часу $T(A)$, а може бути і те й інше.

Вирішення 2. Два набори заходів A_1 і A_2 називаються *незрівняними*, якщо у одного з них прибуток більш ніж у іншого, але час менше у іншого.

Вирішення 3. Вирішити задачу векторної оптимізації означає знайти таку множину

$$X_* = \{A_i : i = \overline{1, m}\}, \quad (7) \quad \text{якої є}$$

де всі A_i , що входять в X_* , є ефективними і незрівняними між собою.

Вирішивши задачу векторної оптимізації, дістаємо можливість побудови залежності прибутків P від часу реалізації T .

У даній задачі (6) якісний характер залежності $P(T)$ представлений на рис. 1.

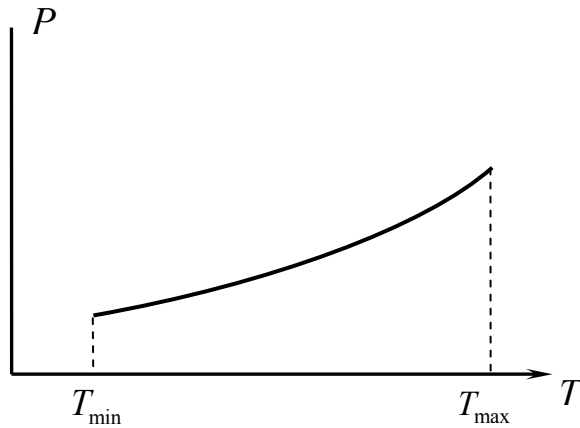


Рис. 1. Якісний характер залежності $P(T)$

Очевидно, що дана крива дозволяє оцінювати пропоновані заходи і необхідне фінансування для створення і оновлення засобів виробництва, боротьби з екологічними наслідками і впливу на основний соціальний показник (заробітну плату).

2. Алгоритм рішення задачі вибору раціональних заходів

Відмітимо, що якщо n – число заходів, то всього варіантів формування множини A дорівнює $2^n - 1$. Так, наприклад, коли $n = 5$, то необхідно розглянути 31 варіант і серед них відібрати ефективні і незрівняні варіанти безпосереднім перебором.

При розробці алгоритму рішення задачі (6) використовувалася необхідна умова ефективності множини A :

$$\frac{-dP(A)}{d\mu} + \lambda \frac{dT(A)}{d\mu} = 0, \quad (8)$$

де похідні беруться по мірі μ , а множник $\lambda \geq 0$ [2].

Основні елементи алгоритму є:

П1. Множина заходів Ω упорядковуємо за часом, так щоб

$$t(\omega_i) \leq t(\omega_{i+1}), \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (9)$$

П2. Формуємо множину $\tilde{X}_*$, елементами

$$A_k = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k\}, \quad k = \overline{1, n}.$$

П3. Визначаємо такий номер k^* , що

$$Z(A_{k^*}) \leq D < Z(A_{k^*+1}).$$

П4. Якщо $Z(A_{k^*}) = D$, то множина

$$X_* = \{A_k : k = \overline{1, k^*}\}, \quad (10)$$

інакше виконуємо П.5.

П5. Уточнюємо множину A_{k^*+1} , так щоб

$$Z(A_{k^*}) < Z(\tilde{A}_{k^*+1}) \leq D. \quad (11)$$

П6. Поповнюємо множину X_* уточненими $\tilde{A}_{k^*+1}$ і будуємо залежність $P(T)$.

3. Чисельний приклад рішення задачі векторної оптимізації

Нехай набір заходів $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5\}$ характеризуються витратами $z(\omega_i)$, прибутком $p(\omega_i)$ і часом $t(\omega_i)$, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
$z(\omega_i)$	6	8	5	2	7
$p(\omega_i)$	8	9	6	4	12
$t(\omega_i)$	3	4	2	1	5

Відповідно до наведеного алгоритму, упорядкувавши заходи за часом, приходимо до наступної табл. 2.

Таблиця 2

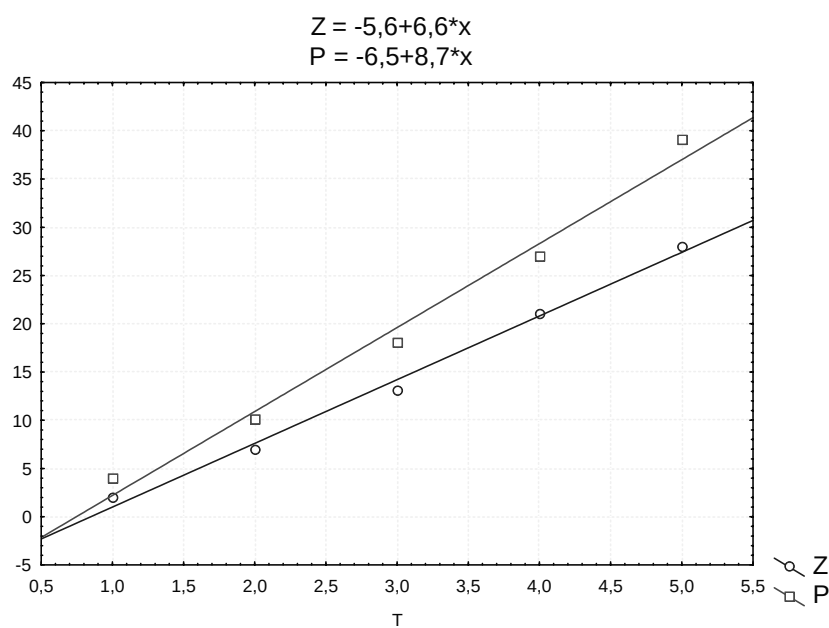
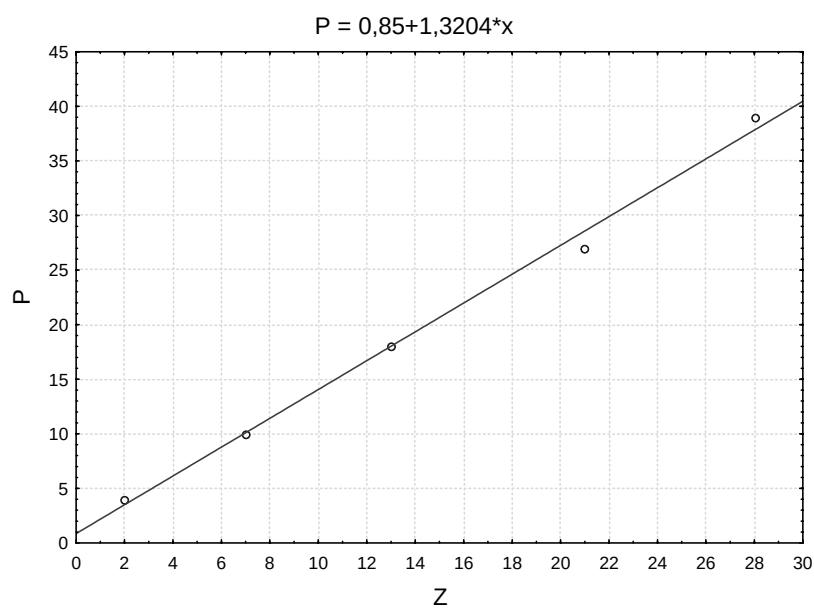
	ω_4	ω_3	ω_1	ω_2	ω_5
z	2	5	6	8	7
p	4	6	8	9	12
t	1	2	3	4	5

Формуємо ефективні і незрівняні множини A_k (табл. 3). За даними цієї таблиці будуємо графіки залежностей $P(T)$ і $Z(T)$ (рис. 2).

На підставі табл. 3 виникає можливість побудувати залежність прибутку P від витрат Z (рис. 3).

Таблиця 3

k	A_k	$Z(A_k)$	$P(A_k)$	$T(A_k)$
1	ω_4	2	4	1
2	ω_4, ω_3	7	10	2
3	$\omega_4, \omega_3, \omega_1$	13	18	3
4	$\omega_4, \omega_3, \omega_1, \omega_2$	21	27	4
6	$\omega_4, \omega_3, \omega_1, \omega_2, \omega_5$	28	39	5

Рис. 2. Графічне уявлення $P(T)$ і $Z(T)$ Рис. 3. Залежність прибутків P від витрат Z

Дана залежність дозволяє вирішувати задачу визначення прибутку від наявних фінансів D , оскільки маємо залежність:

$$P = 0,85 + 1,3204 \cdot Z. \quad (11)$$

Так, наприклад, при $D = 18$ прибуток буде рівним

$$P = 0,85 + 1,3204 \cdot 18 = 24,98. \quad (12)$$

Можна вирішувати і зворотну задачу – за бажаним прибутком визначати необхідні фінанси.

Оскільки в розглянутому прикладі $n = 5$, то всіляких варіантів множин типу $A \subset \Omega$ буде $2^5 - 1 = 31$.

Розрахунки наведені у табл. 4.

Таблиця 4

№	ω_5	ω_4	ω_3	ω_2	ω_1	Витрати Z	Прибуток P	$T(A)$
1	0	0	0	0	ω_1	6	8	3
2	0	0	0	ω_2	0	8	9	4
3	0	0	0	ω_2	ω_1	14	17	4
4	0	0	ω_3	0	0	5	6	2
5	0	0	ω_3	0	ω_1	11	15	3
6	0	0	ω_3	ω_2	0	13	15	4
7	0	0	ω_3	ω_2	ω_1	19	23	4
8	0	ω_4	0	0	0	2	4	1
9	0	ω_4	0	0	ω_1	8	12	3
10	0	ω_4	0	ω_2	0	10	13	4
11	0	ω_4	0	ω_2	ω_1	16	21	4
12	0	ω_4	ω_3	0	0	7	10	2
13	0	ω_4	ω_3	0	ω_1	15	18	3
14	0	ω_4	ω_3	ω_2	0	15	19	4
15	0	ω_4	ω_3	ω_2	ω_1	21	27	4
16	ω_5	0	0	0	0	7	12	5
17	ω_5	0	0	0	ω_1	13	20	5
18	ω_5	0	0	ω_2	0	15	21	5
19	ω_5	0	0	ω_2	ω_1	21	29	5
20	ω_5	0	ω_3	0	0	12	16	5
21	ω_5	0	ω_3	0	ω_1	18	24	5
22	ω_5	0	ω_3	ω_2	0	20	37	5
23	ω_5	0	ω_3	ω_2	ω_1	26	35	5
24	ω_5	ω_4	0	0	0	9	16	5
25	ω_5	ω_4	0	0	ω_1	15	24	5
26	ω_5	ω_4	0	ω_2	0	17	25	5
27	ω_5	ω_4	0	ω_2	ω_1	23	33	5
28	ω_5	ω_4	ω_3	0	0	14	22	5
29	ω_5	ω_4	ω_3	0	ω_1	20	30	5
30	ω_5	ω_4	ω_3	ω_2	0	22	29	5
31	ω_5	ω_4	ω_3	ω_2	ω_1	28	37	5

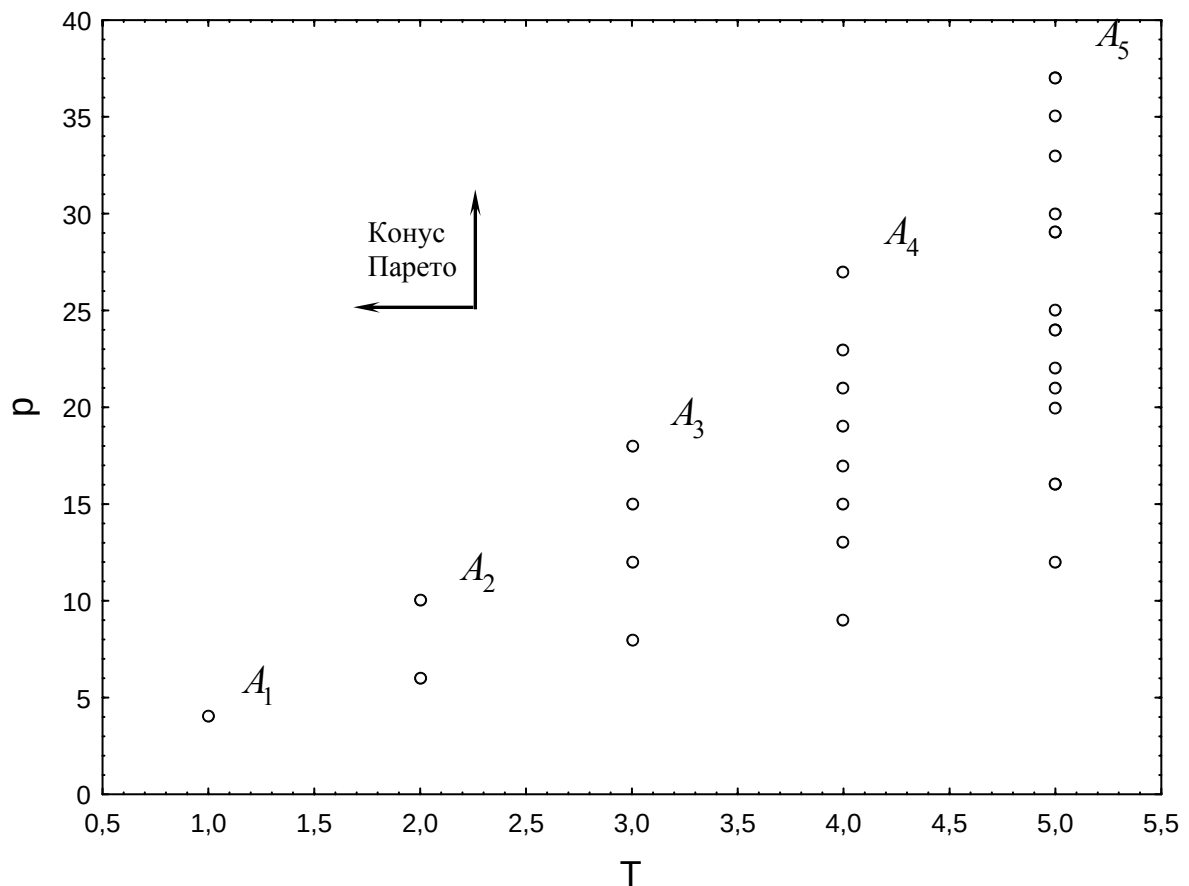


Рис. 4. Відображення всіх варіантів табл. 4 в просторі функціоналів T і P

Якщо відобразити дані табл. 4 в простір функціоналів $T(A)$ і $P(A)$, то отримаємо набір точок (див. рис. 4), серед яких відберемо точки за допомогою конуса Парето. Ці точки помічені як A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 , тобто точка, над якою вказано A_i , означає, що значення T і P відповідають множині A_i .

Відзначимо, що найбільші витрати часу необхідні при впорядкуванні множини Ω по $t(\omega)$.

Ця процедура містить в собі не більше ніж $\frac{n(n-1)}{2}$ операцій порівняння.

Звідки витікає, що витрати часу запропонованого алгоритму будуть порядку $O\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)$, що цілком реалізовується на сучасних обчислювальних машинах.

Далі наведено програму розрахунку раціонального інвестування заходів.

```
> restart:with(plots):
> n:=5; Кількість заходів.
                                n := 5
> z:=vector(n, [6, 8, 5, 2, 7]); Витрати фінансів.
                                z := [6, 8, 5, 2, 7]
> p:=vector(n, [8, 9, 6, 4, 12]); Прибуток
                                p := [8, 9, 6, 4, 12]
> t:=[3, 4, 2, 1, 5]; Витрати часу.
                                t := [3, 4, 2, 1, 5]
> ts:=sort(t);
                                ts := [1, 2, 3, 4, 5]
> K:=vector(n, []):
```

```
> for i from 1 to n do for j from 1 to n do if ts[i]=t[j] then K[i]:=j:
end if: end do: end do; print(`K=`,K);
```

Визначення порядку формування множин $A[k]$.

$K = [4, 3, 1, 2, 5]$

```
> A:={}:P:=0:Z:=0:PP:=vector(n,[]):ZZ:=vector(n,[]):T:=vector(n,[]):
```

Рішення задачі векторної оптимізації.

```
> for i1 from 1 to n do A:=A union
{w[K[i1]]}:P:=P+p[K[i1]]:PP[i1]:=P:Z:=Z+z[K[i1]]:ZZ[i1]:=Z:T[i1]:=t[K[
i1]]:print(A,`P=`,P,`Z=`,Z,`T=`,t[K[i1]]): end do:
```

$\{w_4\}, P=, 4, Z=, 2, T=, 1$

$\{w_4, w_3\}, P=, 10, Z=, 7, T=, 2$

$\{w_4, w_1, w_3\}, P=, 18, Z=, 13, T=, 3$

$\{w_4, w_2, w_1, w_3\}, P=, 27, Z=, 21, T=, 4$

$\{w_4, w_5, w_2, w_1, w_3\}, P=, 39, Z=, 28, T=, 5$

```
> p1:=plot([T[i2],PP[i2],i2=1..n],style=line,thickness=3,labels=["t",
p "]):p1;
```

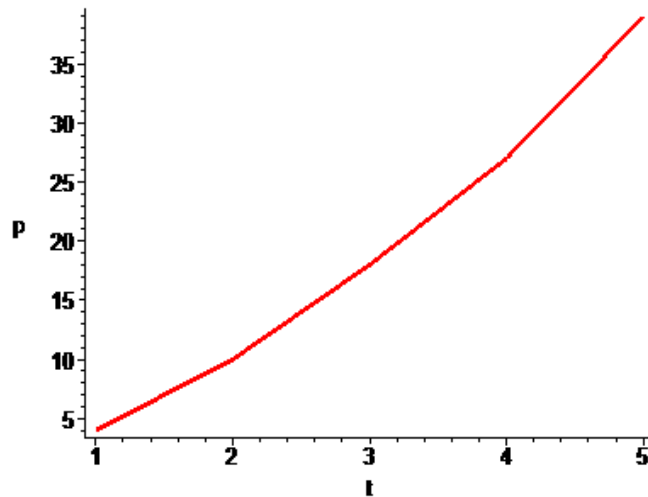


Рис. 5

```
> p2:=plot([T[i2],ZZ[i2],i2=1..n],style=line,thickness=3,labels=["t",
Z "],color=blue):p2;
```

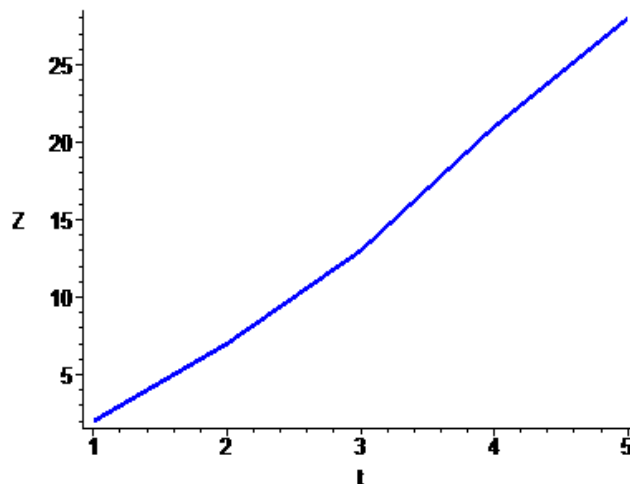


Рис. 6

```

>p3:=plot([T[i2],ZZ[i2],i2=1..n],style=line,thickness=3,labels=["t","
Z P"],color=blue):
>p4:=plot([T[i2],PP[i2],i2=1..n],style=line,thickness=3,labels=["t","
z p"]):
> display({p3,p4});

```

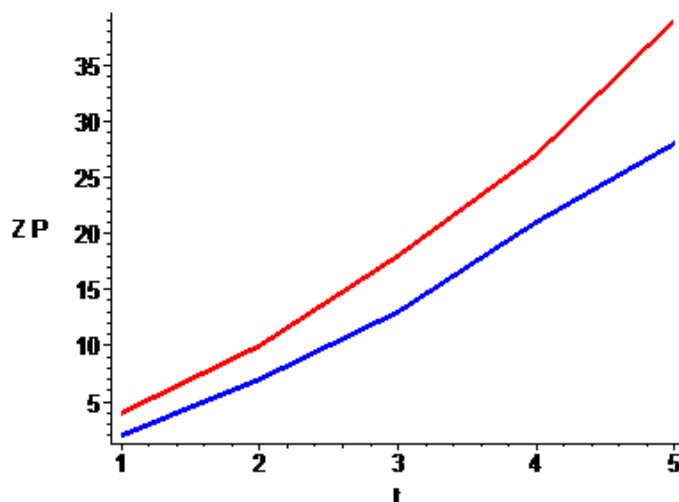


Рис. 7

```

>p5:=plot([ZZ[i2],PP[i2],i2=1..n],style=line,thickness=3,labels=["Z","
P"],color=red):p5;

```

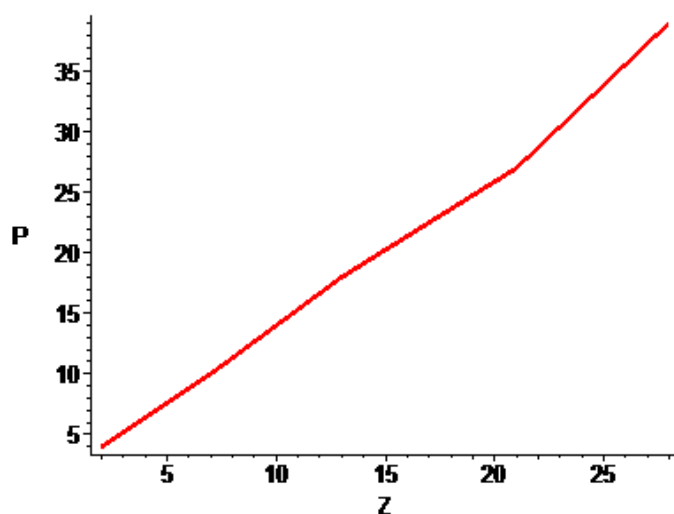


Рис. 8

4. Обґрунтування алгоритму розв'язання задачі векторної оптимізації

Вважаємо, що множина заходів $\Omega = \{\omega_i : i = \overline{1, n}\}$ упорядкована за часом, тобто має місце

$$t(\omega_i) \leq t(\omega_j) \text{ для } i < j.$$

Позначимо через A_k множину, що складається із заходів $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k\}$, $k = \overline{1, n}$.

Якщо $\mathfrak{R}(\Omega)$ є набором всіх підмножин множини Ω , то мають місце наступні твердження:

Будь-яка множина $A_k \in \mathfrak{R}(\Omega)$ є ефективною.

Доведення

Нагадаємо, що множина A є ефективною, якщо будь-яка його варіація призводить до зменшення прибутку або збільшення часу, тобто до погіршення хоча б одного з показників.

Візьмемо деяку множину $B \in \mathfrak{R}(\Omega)$, яку можна представити у вигляді:

$$B = B_1 \cup B_2,$$

причому $B_1 \subset A_k$ і $B_2 \not\subset A_k$, природно $B_1 \cap B_2 = \emptyset$. Тоді варіація множини A_k за допомогою множини B являє собою

$$A_k \Delta B = (A_k \setminus B_1) \cup B_2,$$

де Δ – операція симетричної різниці.

У силу адитивності функції множини $P(A)$ маємо:

$$P(A_k \Delta B) = P(A) + P(B_2) - P(B_1),$$

а приріст прибутку становить

$$P(A_k \Delta B) - P(A) = P(B_2) - P(B_1).$$

Розглянемо випадок, коли $P(B_2) - P(B_1) > 0$, тобто при варіації прибуток збільшується. Але оскільки

$$\begin{aligned} T(A_k \Delta B) = \\ = \max \left\{ \max_{\omega \in A \setminus B_1} (t(\omega)), \max_{\omega \in B_2} (t(\omega)) \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

то і час погіршується.

Отже, множина A_k є ефективною.

Зауважимо, що якщо $B_2 = \emptyset$, то зменшується прибуток, у разі коли $B_1 = \emptyset$, то збільшується час, тобто A_k – ефективна, що і доводить твердження.

Дві множини A_i і A_j , якщо $i \neq j$, є незрівняними.

Доведення

Визначеності заради вважаємо, що $i < j$, тоді:

$$P(A_i) < P(A_j);$$

$$T(A_i) < T(A_j),$$

що говорить про незрівнянність за Парето множин A_i і A_j .

Твердження 1. Якщо множина A відмінна за своєю структурою від множини типу A_k , то можна вказати деяку множину A_v , яка краща ніж A .

Доведення

Нехай v є номером самого старшого $\omega \in A$, тоді $T(A) = t(\omega_v)$. Оскільки A можна поповнювати елементами $A_v \setminus A$, то множина A_v має прибуток більше, ніж $P(A)$, а час такий же. Отже, множина A_v краще множини A .

З наведених тверджень випливає, що множини типу A_k і тільки вони є рішеннями задачі векторної оптимізації (6), якщо не звертати увагу на фінансові обмеження. Облік фінансових обмежень закладений у пунктах П.4 і П.5 викладеного алгоритму.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В. Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. – 144 с.
2. Босов, А. А. Функции множества и их применения [Текст] / А. А. Босов. – Днепропетровск: Изд. дом «Андрій», 2007. – 182 с.

Надійшла до редакції 12.01.2010.

Прийнята до друку 18.01.2010.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ВАГОННЫХ ПАРКАХ ОПЕРАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Запропоновано метод розрахунку оптимального потрібного парку вантажних вагонів операторських компаній та промислових підприємств, який враховує фінансові, технологічні та інші ризики при виконанні перевезень власними вагонами і частковому використанні вагонів інвентарного парку залізничного транспорту.

Предложен метод расчета оптимального потребного парка грузовых вагонов операторских компаний и промышленных предприятий, который учитывает финансовые, технологические и другие риски при выполнении перевозок собственными вагонами и частичном использовании вагонов инвентарного парка железнодорожного транспорта.

A method for calculation of an optimum necessary stock of freight wagons of operator companies and industrial enterprises is offered. The method takes into account the financial, technological and other risks in performing transportations with own wagons and partial using of wagons from the of inventory stock of railway transport.

Обоснование постановки задачи

В условиях развития рынка железнодорожных транспортных услуг все возрастающая роль принадлежит операторским и экспедиторским компаниям. Данные Государственного комитета статистики Украины свидетельствуют о непрерывном росте операторской деятельности: в 2005 г. объем перевозок собственными вагонами превысил 29 %, в 2009 г. доля перевозок собственными вагонами была уже около 40 %. Главным фактором конкурентоспособности операторов являются их основные производственные фонды – парк собственных вагонов. Оптимальный расчет производственных фондов, как потребного парка грузовых вагонов в зависимости от предполагаемого объема перевозок, сегодня является первоочередной задачей для операторских компаний. Проблема оценки рационального потребного парка собственных вагонов рассмотрена в работах [1, 2, 3] и др. В [1, 2] установлена квадратическая модель зависимости между рациональным количеством требуемых собственных вагонов и среднесуточным объемом перевозок грузов. 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 вагонами собственности Укрзализныци (инвентарным парком). Здесь показано, что при планировании следует учитывать риск получить избыточный

или недостаточный в будущем парк вагонов, а также некоторые финансовые и технологические риски, которые следует сопоставлять с затратами и другими условиями по организации перевозок, в том числе связанными с частичным использованием вагонов инвентарного парка.

Целесообразность организации перевозок в собственных вагонах операторских компаний при одновременном использовании вагонов Укрзализныци обусловлена несколькими существенными факторами. Потребность в эффективном использовании вагонного парка, владельцем которого является операторская компания, вытекает из роста транспортной составляющей в стоимости грузов, перевозимых железными дорогами. Это негативно влияет на конкурентоспособность железнодорожного транспорта в целом. Наряду с финансовыми показателями такое качество перевозочного процесса как надежность транспортных услуг может оцениваться несколькими параметрами: стоимость перевозок, сроки доставки грузов, уровень их сохранности. Надежность перевозок зависит от уровня надежности работы всех элементов логистической цепочки по доставке грузов. Из-за замедления обращения оборотных средств, грузовладельцы несут убытки. Операторские компании, владельцы подвижного состава, вынуждены приобрести и удерживать завышенный парк собственных вагонов. Это требует от операторской компании значительного увеличения капитальных вложений на

приобретение вагонов, дополнительные эксплуатационные расходы на содержание подвижного состава и управление перевозками. Кроме того, стоимость перевозки порожнего подвижного состава парка железных дорог учтена в тарифах на перевозку грузов. При планировании перевозок собственными вагонами операторских компаний требуется организация возврата порожних вагонов после выгрузки за счет грузополучателя или непосредственно операторской компании.

В статье развивается подход к обоснованию потребности в основных производственных фондах компаний операторов, собственных парках вагонов, на основе разработки стохастических экономико-математических моделей, обобщающих результаты [3], которые учитывают как предполагаемую структуру плана перевозки грузов, так и финансовые и технологические риски.

Информационная база для анализа и моделирования использования основных производственных фондов компаний операторов

На рис. 1 – 4 представлены типичные результаты исследований работы компаний операторов железнодорожного транспорта (на ри-

сунках – оператор 1, оператор 2) в течение месяца (август 2009 г.), которые получены на основе обработки данных автоматизированных систем управления перевозками Укрзализныци. 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 и 3 представляет возможности курсирования вагонов на различных полигонах, в то же время часть из них работает в кольцевых маршрутах (рис. 2, рис. 4). Рисунки позволяют оценить как грузовые (толстые стрелки), так 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. 4 кроме этой информации указаны коды основных перевозимых грузов (третье число на дуге), которые предназначены для расчета денежной оценки работы вагонов. На рис. 4 также представлены этапы технологического цикла использования вагонов (в виде последовательности номеров).

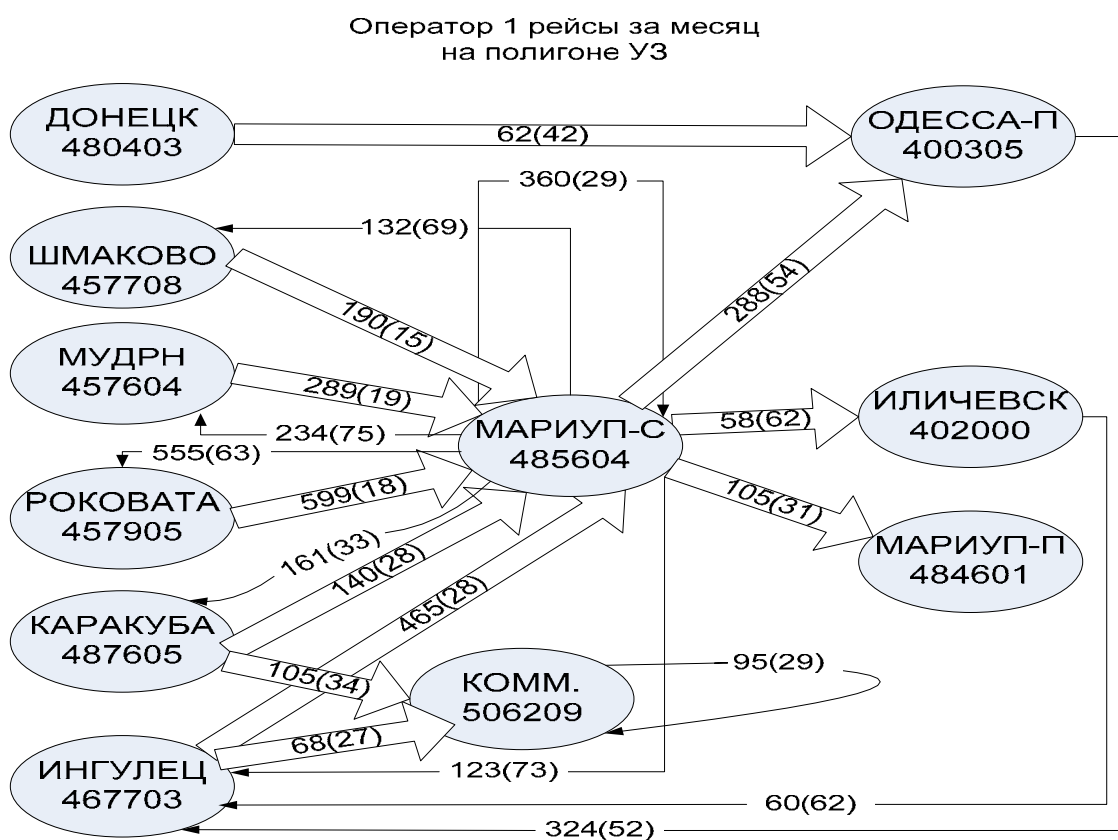


Рис. 1. Типичная схема работы собственных вагонов оператора 1 на полигоне Укрзализныци

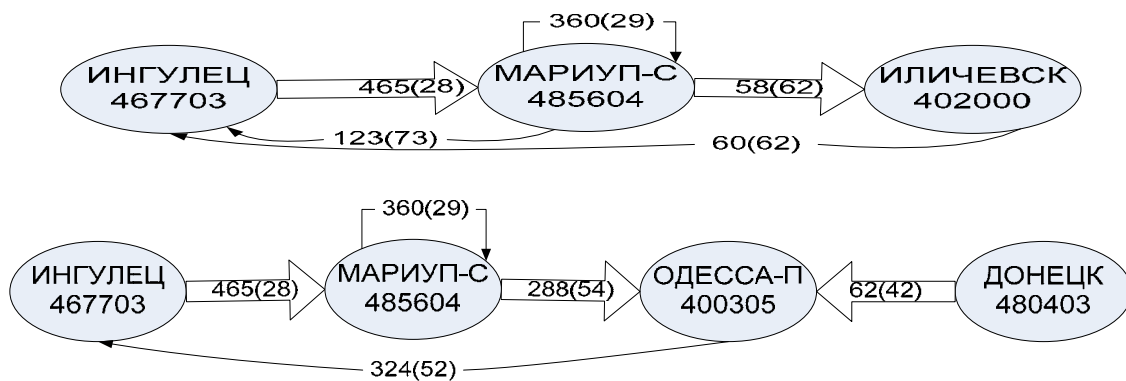


Рис. 2. Примеры кольцевых маршрутов работы оператора 1

Тонкие стрелки – петли одной станции – показывают количество обработанных на ней за месяц вагонов и среднее время, затраченное на их обработку (интервал времени от выгрузки до погрузки).

На рис. 4, маршрут 1, указано движение груженых вагонов со станции Запорожье-Левое (ЗПР-Л) на ст. Ильичевск (этап 1), возврат порожних вагонов на ст. Ингулец (этап 2) и пере-

мещение порожних вагонов на ст. Ингулец со ст. ЗПР-Л (также этап 2); на ст. Ингулец выполняется погрузка вагонов назначением на ст. ЗПР-Л (этап 3) и выгрузка вагонов с подачей под погрузку на ст. ЗПР-Л (этап 4) с дальнейшим их направлением на ст. Ильичевск (этап 1). Маршрут 2 сложнее, т.к. в нем участвуют грузопотоки в двух направлениях, но его описание выполняется подобным образом.

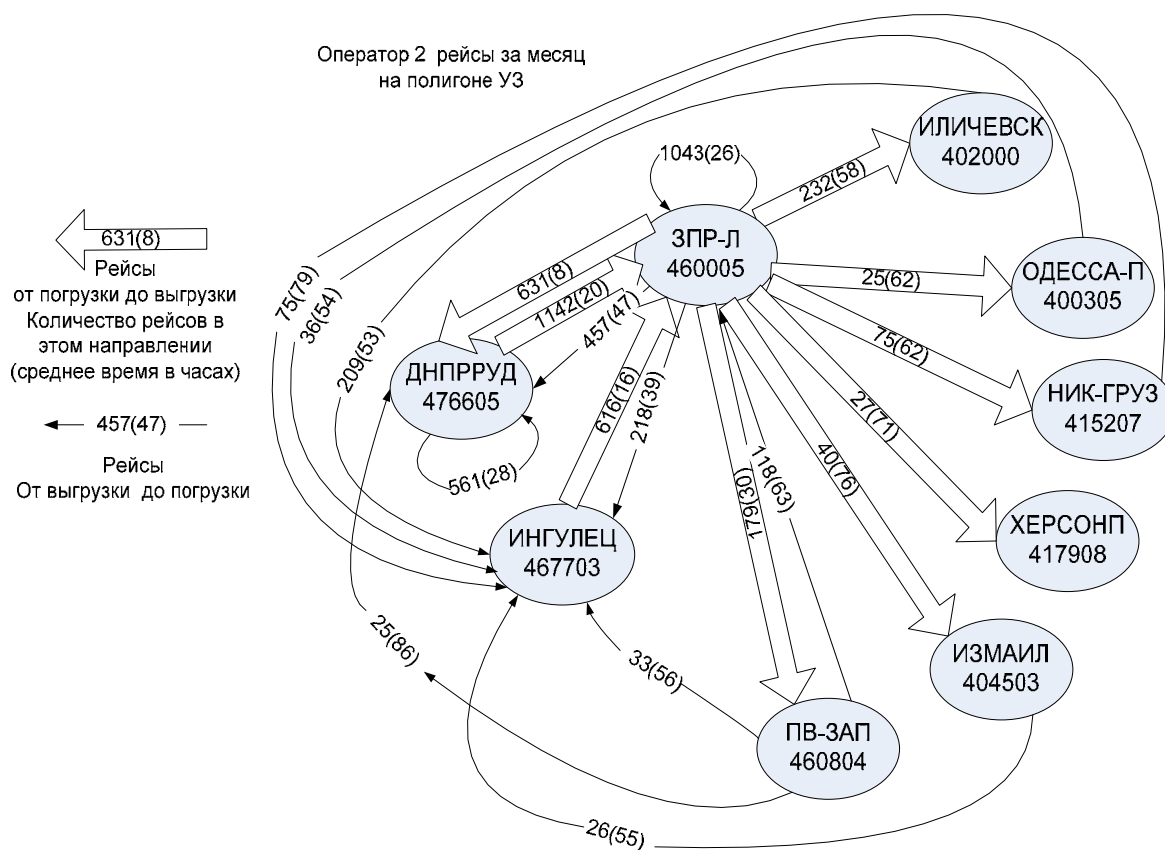


Рис. 3. Схема рейсов работы оператора 2 за месяц

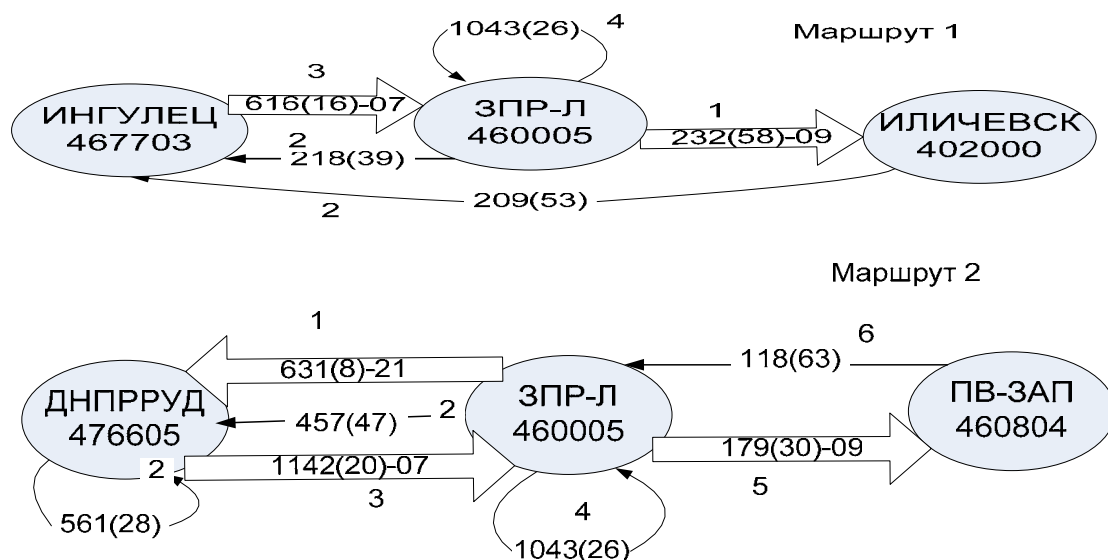


Рис. 4. Примеры кольцевых маршрутов работы оператора 2

Рис. 1 – 4 дают некоторое представление о содержании и сложности проблемы обоснования рациональной потребности в основных производственных фондах компаний-операторов. Кроме того, они позволяют сделать заключение об очевидном различии математических моделей, необходимых для планирования перевозок по кольцевым рейсам и при курсировании вагонов по всему железнодорожному полигону, а также о различии методов, используемых для выбора рациональной потребности в собственных вагонах. Метод оценки потребности в вагонах применительно к перевозкам по маршрутам (рис. 2, рис. 4) в большой степени соответствует работам [1, 2], когда можно с приемлемой точностью оценить время оборота вагонов, соответствующие стоимостные показатели и на этой основе вычислить рациональный потребный парк вагонов, используя детерминированную модель процесса перевозки, базирующуюся на средних значениях. По сути, здесь учитываются лишь технологические факторы процессов перевозки грузов, без учета стоимостных и целого ряда других.

В общем случае, рис. 1 и рис 3, могут быть рассчитаны лишь оценки вероятностных характеристик времен движения вагонов по различным маршрутам, а также относительные частоты таких рейсов. Здесь более адекватным является выбор объема основных производственных фондов на основе стохастических моделей. Такое же заключение может быть сделано относительно необходимости усовершенствования метода по расчету потребного парка вагонов операторов с учетом условий риска [3].

Анализ методов оценки основных производственных фондов компаний-операторов железнодорожного транспорта

Как отмечено выше, проблема оценки основных производственных фондов является одной из наиболее важных и сложных для операторов железнодорожного транспорта. Она учитывает предполагаемые объемы и качественный состав перевозимых грузов, которые обеспечивают компании-оператору перевозку с заданными свойствами (своевременность, стоимость либо рентабельность, надежность и др.). Вместе с тем реализовать перевозку можно не только собственными вагонами, но и вагонным парком государственной собственности. При этом возникает новый аспект – необходимость учета дополнительных рисков, имеющих на этапе принятия решений по формированию парка вагонов операторов. Задача оценки оптимальных производственных фондов операторов, возникающая в этом случае, состоит как в учете стохастических свойств показателя «работы», оборота вагонов, так и в расчете той части требуемого объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. Остальная часть требуемых перевозок должна выполняться вагонами государственного, инвентарного парка. Критерием оптимальности такого выбора может быть минимум суммарного экономического риска операторской компании (ОК) при реализации плана перевозки грузов.

Потребности в основных производственных фондах компании (ОПФОК) определяются на основе следующих факторов: среднемесечный 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 железнодорожными дорогами либо грузоотправителями, либо грузополучателями договорных обязательств [1, 2]. Модель по оценке потребности в парке вагонов ОК на основе временных, технологических характеристик процесса перевозки, когда среднемесячные объемы перевозок считаются одинаковыми, имеет вид:

$$N_{\text{потр}} = f(K_{\text{дост}}, K_{\text{обсл}}, Q_{\text{ср}}^{\text{мес}}, \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}, P_{\text{ст}}) \Rightarrow \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Здесь обозначено:

$$N_{\text{потр}} = \frac{12}{365} K_{\text{дост}}, K_{\text{обсл}} = \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (2)$$

$N_{\text{потр}}$ – количество собственных вагонов, достаточное для обеспечения запланированных объемов перевозок грузов; $K_{\text{дост}}$ – коэффициент, который учитывает возможности несоблюдения нормативных технологических сроков доставки грузов и оборота вагонов операторской компании; $K_{\text{обсл}}$ – коэффициент дополнительных затрат времени на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов; $Q_{\text{ср}}^{\text{мес}}$ – запланированный среднемесячный объем перевозок, тонн; $\Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}$ – нормативный оборот вагонов операторской компании, суток; $P_{\text{ст}}$ – средняя статическая нагрузка вагона, тонн/ваг. В расчетах могут быть приняты следующие значения коэффициентов – $K_{\text{дост}} = 1,1$, $K_{\text{обсл}} = 1,15$, а также вариант наиболее благоприятного использования грузоподъемности вагонов, когда $N_{\text{потр}} = 0,033 \cdot K_{\text{дост}}$.

$$K_{\text{обсл}} = \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}}. \quad (3)$$

В этом случае оценка требуемого количества собственных вагонов равна:

$$N_{\text{потр}} = 0,042 \cdot \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}}. \quad (4)$$

Приближенная оценка (4) основана на единственном нормированном времени оборота вагонов ОК $\Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}$, она не учитывает зависимость парка вагонов от переменного параметра

статической нагрузки $40 \leq P_{\text{ст}} \leq 70$ (т/ваг.) и другие факторы. Анализ модели (4) показывает, что она может быть использована лишь для перевозок по постоянным маршрутам (рис. 2, рис. 4). В схемах перевозок рис. 1, рис. 3 времена оборота вагонов существенно отличаются для различных рейсов, в которых может быть использован вагон, причем их частотные характеристики имеют значительные различия. Помимо этого при оценке основных производственных фондов следует учитывать возможности приобретения и содержания собственных вагонов, оценки дополнительной ожидаемой прибыли от их эксплуатации вместо перевозок вагонами инвентарного парка Укрзализныци.

Система перевозок грузов ОК должна базироваться на технологии «Доставка в установленный срок», чтобы приблизить нормативные сроки доставки к оптимальным потребностям клиентов, когда существенным является учет и таких критериев эффективности перевозок, как время перемещения груза от грузоотправителя к грузополучателю (учитывая дополнительные расходы времени из-за несоблюдения нормативных сроков доставки грузов и оборота вагонов), изношенность парка вагонов (учет дополнительных расходов времени на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов), качество предоставленных услуг (процент случаев несохранности перевозки), надежность времени прибытия грузов. В случае 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 факторов риска (технологических и экономических).

Подытожим модель по оценке потребности в парке вагонов (1) – (4). Ее использование базируется на следующем:

1) предполагается, что каждый вагон имеет один полигон курсирования и перевозит один вид груза;

2) оператор имеет достаточный ресурс для приобретения, содержания потребного вагонного парка и управления им;

3) считается известным аналитический вид зависимости рационального количества вагонов собственного парка оператора от объема перевозки, хотя при вариации условий он может изменяться.

Остановимся на вопросах разработки математических моделей и методов по оценке рационального требуемого вагонного парка операторов на основе необходимости применения следующих положений.

1. Учет возможности выполнения перевозок различных грузов по нескольким маршрутам.
2. Обеспечение экономически целесообразного и согласованного взаимодействия вагонных парков различных собственников.
3. Учет экономического риска получить избыточный или недостаточный в будущем парк вагонов, который должен оцениваться и сопоставляться с затратами и мерами по организации перевозок, связанными с частичным использованием вагонов инвентарного парка.
4. Учет неодинаковой зависимости рационального количества собственных вагонов от объемов перевозки, родов подвижного состава, районов курсирования вагонов.

Критерием выбора количества собственных вагонов как основных производственных фондов компаний-операторов следует считать минимум суммарного экономического риска при организации процесса перевозок с учетом возможности использования вагонов инвентарного парка.

Стохастические модели для расчета основных производственных фондов компаний-операторов

Исследуем две возможности стохастического моделирования при оценке требуемого собственного парка компаний операторов. При этом первая модель, по сути, обобщает (1) – (4) за счет учета возможности выполнения грузовых рейсов собственными вагонами по нескольким маршрутам, а также неоднородности статистических характеристик железнодорожных перевозок. Вторая модель дополнительно учитывает экономические риски, связанные с работой как собственного, так и инвентарного вагонного парка.

Стохастическая модель по оценке необходимого количества вагонов *при учете случайных значений факторов выбора маршрутов курсирования и времен оборотов вагонов* может быть легко 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, рис. 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 $Q_{j\text{ ср}}^{\text{мес}}$ – запланированный среднемесячный объем перевозок, а $\Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}$ – 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, что непосредственно обобщает (4):

$$N_{\text{потр}}(\omega) = \sum_{j=1}^{J_r} n_{\text{потр}}^j \omega_j. \quad (5)$$

Модель и метод расчета основных производственных фондов с учетом экономического риска при перевозках грузов несколькими операторами формируется, исходя из таких предположений. В [3] разработана математическая модель задачи оценки требуемого парка вагонов операторов, основанная на расчете части от заданного объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. Ее отличием является учет рисков, учитываемых при формировании требуемого парка вагонов, под которыми понимаются возможные дополнительные затраты или недополучение прибыли при реализации грузовых перевозок. В рамках модели эти возможные затраты, представляющие финансовые оценки рисков, сопоставляются с затратами и другими условиями по организации перевозок при частичном использовании вагонов инвентарного парка для одного возможного маршрута перевозок (рис. 2, рис. 4). В качестве объективных источников таких рисков в модели выступают неопределенности в оценках ряда характеристик процесса перевозки. К ним могут быть отнесены, например, 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. Последние из перечисленных характеристик для вагонных парков операторов и инвентарного парка имеют существенное различие [1, 2].

Используя в качестве критерия оптимального выбора минимум суммарного экономического риска при выполнении перевозки по $j=1, \dots, J_r$ возможным маршрутам движения вагонов, выполним формализацию задачи по расчету требуемого вагонного парка по следующей схеме. Разделим планируемый объем перевозок по каждому маршруту движения на две составляющие:

$$Q_j = Q_{j\text{ин}} + Q_{j\text{св}}; \quad Q_{j\text{ин}}; \quad Q_{j\text{св}}; \quad (6)$$

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 ,

$$Q_i = \sum_j Q_j = \sum_j Q_{j\text{ин}} + \sum_j Q_{j\text{св}}. \quad (7)$$

Обозначим через $\Theta_{j\text{ин}}$ время оборота вагона инвентарного парка для маршрута $j=1, \dots, J_r$, а $\Theta_{j\text{св}}$ – 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:

$$\begin{aligned} \omega_{j\text{ин}} &= \Theta_{j\text{ин}} Q_{j\text{ин}} / \sum_j \Theta_{j\text{ин}} Q_{j\text{ин}}; \\ \omega_{j\text{св}} &= \Theta_{j\text{св}} Q_{j\text{св}} / \sum_j \Theta_{j\text{св}} Q_{j\text{св}}; \end{aligned} \quad (8)$$

приближенность характеристик (8) 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 $\Theta_{j\text{св}}$.

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 $P_{j\text{св}}(\Delta)$; $P_{j\text{ин}}(\Delta)$. Тогда оценки соответствующих рисков равны:

$$\begin{aligned} \Delta E_{j\text{св}} &= \left[\Delta Q_{j\text{св}} = (Q_{j\text{св}} - Q_{j\text{св}}(N_{\text{св}})) \right] P_{j\text{св}} e_q, \\ q &= \overline{1, 2}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $Q_{j\text{св}}$ – соответствует планируемым оценкам (6),

$Q_{j\text{св}}(N_{\text{св}})$ – действительная реализация перевозки собственным парком вагонов операторов для периода T_i , ожидаемая с вероятностью $P_{j\text{св}}(\Delta)$.

С помощью оценок рисков по периодам T_i (6) может быть рассчитана интегральная оценка экономического риска от перевозки $Q_{\text{св}}$ собственным парком операторов, а также вагонами инвентарного парка следующим образом:

$$E_{\text{св}}^{(P)} = \sum_j e_{j\text{св}}^{(P)} \omega_{j\text{св}}^{(P)}; \quad (10)$$

$$E_{\text{ин}}^{(P)} = \sum_j e_{j\text{ин}}^{(P)} \omega_{j\text{ин}}^{(P)}, \quad (11)$$

где

$$e_{j\text{св}}^{(P)} = \begin{cases} \sum_j \Delta Q_{j\text{св}} P_{j\text{св}}^{(+)} e_1; & \Delta_{i\text{св}} \geq 0, \\ \sum_j |\Delta Q_{j\text{св}}| P_{j\text{св}}^{(-)} e_2; & \Delta_{i\text{св}} < 0, \end{cases} \quad (12)$$

$P_{j\text{св}}^{(+)}$, $P_{j\text{св}}^{(-)}$ – оценки вероятностей событий при $\Delta \geq 0$ и $\Delta < 0$, соответственно, а

$$e_{j\text{ин}}^{(P)} = \begin{cases} \sum_j \Delta Q_{j\text{ин}} P_{j\text{ин}}^{(+)} e_3; & \Delta_{i\text{ин}} \geq 0, \\ \sum_j |\Delta Q_{j\text{ин}}| P_{j\text{ин}}^{(-)} e_4; & \Delta_{i\text{ин}} < 0. \end{cases} \quad (13)$$

Равенство (13) показывает, каким образом, выполнив подобные построения, формируют оценки финансовых рисков при перевозках грузов вагонами инвентарного парка. В (13) характеристики e_3 и e_4 содержательно соответствуют дополнительным затратам (e_1, e_2), но представляют свойства перевозок вагонами инвентарного парка.

Величины (12), (13) 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:

$$E_{\Sigma}(N) = E_{\text{пок}}(N) + E_{\text{рем}}(N) + E_{\text{экс}}(N) + \\ + E_{\text{упр}}(N) + E_{\text{св}}^{(P)}(N) + E_{\text{ин}}^{(P)}(N) \rightarrow \min_{Q_{\text{св}}}, \quad (14)$$

где $E_{\text{пок}}(N)$ – затраты на приобретение вагонов;

$E_{\text{рем}}(N)$ – затраты на ремонт;

$E_{\text{экс}}(N)$ – 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 (10), (11).

В модели задачи расчета ПВПОК (9) 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 (6).
2. Оценить показатели (7), (8).
3. Вычислить оценки затрат (12), (13) как компоненты (10), (11).

4. Перебором $Q_{\text{св}}$, последовательно изменяя предполагаемый объем грузов, который перевозится собственным вагонным парком оператора, найти $\min E_{\Sigma}(N)$ (14).

В модель задачи (6) – (14) планирования основных производственных фондов могут быть введены ограничения на отдельные составляющие $E_{\text{пок}}(N)$, $E_{\text{рем}}(N)$, $E_{\text{экс}}(N)$, $E_{\text{упр}}(N)$ (финансовые, технологические, организационные) или же на суммарный объем используемых ресурсов, например, в таком виде:

$$E_{\text{пок}}(N) + E_{\text{рем}}(N) + E_{\text{экс}}(N) + \\ + E_{\text{упр}}(N) + E_{\text{св}}^{(P)}(N) + E_{\text{ин}}^{(P)}(N) \leq E_{\text{const}}. \quad (15)$$

Реализация дискретной экстремальной задачи (6) – (15) 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 (6) – (15), могут быть получены на основе анализа данных мониторинга процесса грузовых перевозок по данным автоматизированной системы АСК ВП УЗ. При этом в зависимости от объема, характера исследуемых данных и их интерпретации могут быть построены различные классы математических моделей, представляющих задачу выбора требуемого парка вагонов операторов. Например, представление факторов неопределенности с помощью нечетких и интервальных мер, характеризующих финансовые риски предприятия вместо статистических характеристик $\bar{P}_i$ [4, 5], позволяет сформировать соответствующие нечеткие и интервальные модели задачи выбора основных производственных фондов. Эти вопросы выходят за рамки представленной работы.

Выводы

Проблема планирования основных производственных фондов компаний-операторов железнодорожного транспорта представлена как задача стохастического программирования в условиях риска. Вычисляются потребности в рациональном собственном вагонном парке предприятий, исходя из требований минимизации финансово-экономических рисков, возник-

кающих при доставке грузов с учетом современных требований к перевозкам. Предложенные в статье модели и методы планирования учитывают многовариантное использование собственных вагонов, а также возможность привлечения для организации перевозок ресурсов других компаний. При этом открываются возможности кооперации нескольких перевозчиков, а также снижения финансовых, технологических и других рисков, имеющих место при железнодорожных перевозках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулешов, В. В. Удосконалення технології перевезень вагонами операторських компаній на основі ресурсозбереження [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Х., 2006. – 20 с.
2. Данько, М. І. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом [Текст] / М. І. Данько, В. В. Кулешов // Зб. наук. пр. – 2004. – Вип. 57. – Х.: УкрДАЗТ, 2004. – С. 121-128.
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 Дніпропетр. 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. – Вып. 4. – М., 2004. – 184 с.
5. Згуровский, М. З. Интегрированные системы управления и проектирования [Текст] / М. З. Згуровский. – К.: Высш. шк., 1990. – 351 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2010.

Принята к печати 20.01.2010.

В. В. СКАЛОЗУБ (ДИИТ), В. Вл. СКАЛОЗУБ (Днепропетровский государственный аграрный университет)

РАЗВИТИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭКОНОМИКИ

Розроблено моделі та методи нечіткого адаптивного управління на основі даних спостережень, що ураховують також статистичну інформацію й умови ризику.

Разработаны модели и методы нечеткого адаптивного управления на основе данных наблюдений, которые также учитывают статистическую информацию и условия риска.

The mathematical models and methods for adaptive fuzzy control are offered. The methods also take into account the statistical information and risk conditions at the control implementation.

Введение

В работе представлены результаты исследований, направленных на развитие метода нечетко-статистического моделирования и управления (НСУ) на основе данных наблюдений [1], которые обобщают известные методы нечеткого управления (НУ), разработанные для нечетких экспертных систем [2, 3]. Содержание метода НСУ состоит в объединении в единой математической модели различных форм описания основных характеристик неопределенности параметров (вероятностная и нечеткая интерпретации обрабатываемых данных) сложных технологических либо экономических процессов. С формальной точки зрения строится модель и соответствующий метод управления, оперирующий вероятностными оценками нечетких множеств; вместе с тем обобщенный показатель неопределенности системы, на основе которого выбирается управление, можно трактовать как составляющую энергии нечеткого множества [3]. Для формирования моделей автоматизированного управления существенно, что одни из переменных НСУ характеризуют нормативные параметры (либо качественные, субъективные оценки), а другие – результирующие характеристики (фактически реализованные значения параметров). Целесообразность использования и специфика моделей НСУ основана на неоднородности статистических характеристик входных переменных, а также управляющих величин, характеризующих рассматриваемые процессы. В первую очередь, это связано с невозможностью на практике точного определения параметров состояния управляемой системы и значений функций принадлежности. Введение статистических

данных, которые отражают реализации процессов, в модель задачи управления в качестве дополнительной к оценкам степени принадлежности информации является эффективным механизмом адаптации, который формируется на основе мониторинга значений параметров экономических и технологических систем.

В рамках современных производственных систем управления такие статистические данные позволяют выполнить автоматизированное моделирование величин, входящих в нечеткие производственные модели баз знаний. Параметры нечетких величин «взвешиваются» статистическими параметрами, при выполнении процедур нечеткого управления, в первую очередь методов «скаляризации» при вычислении оценок величины управляющего воздействия [2, 3].

Главной отличительной чертой и научной новизной предлагаемых методов управления в условиях неопределенности является включение в НСУ принципов известных методик принятия рациональных решений в условиях риска. При этом исследуется возможность углубления содержания нечеткого управления за счет дальнейшего развития НСУ. А именно, для формирования нечетко-статистического управления на этапе «скаляризации» предлагается использовать аналог меры оценки эффективности инвестиционных портфелей – отношения У. Шарпа [4]. Схематически расширенная процедура НСУ (НСУШ) может быть представлена следующим образом. Формируется нечетко-статистическая мера (НСМ) области значений управляемых параметров систем в виде произведения – взвешивания степени принадлежности вероятностными оценками. Для такой обобщенной характеристики неопределенности НСМ выполняется стандартная про-

цедура НУ со «скаляризацией», например, на основе вычисления «центра тяжести», а также расчет обобщенного показателя неопределенности для точки «центр тяжести». В отличие от классических схем нечеткого вывода, вычисление НСУ на этом этапе не заканчивается, а найденное значение (или же некоторое заданное, рассчитанное с учетом оценки управления в точке «стандартного» НСУ– решения) обобщенного показателя используется для того, чтобы выделить область значений управляемых параметров, в которой интегральная характеристика неопределенности имеет предпочтительные оценки. А именно, в каждой точке выделенной на основе дополнительного ограничения области вычисляется показатель, сходный по структуре и в определенной мере содержательно с отношением У. Шарпа. В качестве управления принимается точка выделенной области, в которой введенное отношение принимает экстремальное (максимальное) значение. Последнее свойство служит обоснованием выбора на основе введенной меры НСМ.

В работе приводятся примеры реализации НСУ для ряда задач экономики, которые сравниваются с соответствующими решениями, полученными и с учетом предложенной модификации нечеткого вывода на основе показателя, подобного отношению У. Шарпа (НСУШ).

Процедуры метода нечетко-статистического управления

Рассмотрим содержательные постановки задач управления, условия осуществления и свойства решений которых характеризуются статистической и нечеткой информацией, чтобы выявить их общую формальную структуру, характерную для концепции нечеткого моделирования и не связанную с содержательными различиями. Существенно, что для построения моделей управления далее предполагается наличие данных о подобных ранее реализованных задачах, что служит дополнительным как нечетким, так и статистическим базисом, используемым для более обоснованного выбора управления.

Пусть задача по выбору экономически целесообразного управления ($\tilde{Y}$) при неопределенности сводится к оценке величины некоторого ресурса либо прогнозу ожидаемого времени выполнения работы при использовании нормативного ресурса. Управление зависит от оценок двух характеристик: объема ($\tilde{X}_1$) и удельной трудоемкости работы ($\tilde{X}_2$). Объемный показа-

тель и показатель трудоемкости, а также требуемый ресурс представляются в виде нечетких величин для 2 возможных случаев выбора управлений – функционирования системы: условия, близкие к нормальным ($\tilde{S}_1(\tilde{A})$); функционирование с перегрузкой ($\tilde{S}_2(\tilde{B})$). Примером такой задачи выбора нечеткого управления является планирование затрат на выполнение заказов, поступающих от множества абонентов. Здесь $\tilde{X}_1$ – средний объем поступающих за некоторый период заказов, $\tilde{X}_2$ – оценка их удельной трудоемкости (сложность обработки и затраты на выполнение отдельного заказа), $\tilde{Y}$ – планируемое время обработки всей совокупности заказов (предполагаемые затраты). Такие задачи выбора управления имеют ряд особенностей, из которых наиболее существенна очевидная невозможность задания точных значений параметров $\tilde{X}_1$ и $\tilde{X}_2$, оценивающих условия задач по выбору управлений $\tilde{Y}$, состояние системы управления. Здесь на этапе оценки состояния системы могут применяться статистические методы.

В указанном примере необходимость и содержание нечетко-статистического управления обусловлено двумя обстоятельствами. Формально они затрагивают переменные-посылки и переменные-заключения правил продукций стандартного модуля нечеткого управления (математической модели процесса) [2, 3]. Первое связано с тем, что, например, согласно статистическим данным частоты разных возможных значений объемного показателя ($\tilde{X}_1$) и показателя удельной трудоемкости ($\tilde{X}_2$) были не одинаковы. В то же время для одинаковых предварительных оценок величин требуемых ресурсов (в области их возможных значений) частоты реализаций фактических времен (затраченных объемов ресурсов) оказываются различными. Очевидно, что операция выбора значений параметров управлений (переменных-заклучений относительно прогноза требуемых ресурсов) среди одинаковых по достоверности величин должна учитывать статистическую природу рассматриваемых процессов.

Более сложным является учет статистической неоднородности значений переменных-посылок. Как правило, в стандартном нечетком управлении роль переменных-посылок проявляется при «фазификации» – соотношении текущей ситуации (X_*) с описанием нечетких правил и получением оценок меры их соответ-

ствия в виде степени принадлежности ($X_* \in \tilde{A}_k(X)$), где $\tilde{A}_k(X)$ описывает одну из нечетких переменных рассматриваемого правила продукции. Классическая схема НСУ построена исходя из предположения, что значение (X_*) известно точно и возможно однозначно вычислить степень принадлежности $\mu_F(X_* \in \tilde{A}_k(X))$. Если же рассматриваемая для принятия решения ситуация (X_*) может быть оценена в другом виде, например, с точностью до некоторого интервала ($X_{*\Delta} \in [X_{(-)}, X_{(+)}]$), то однозначно вычислить степень принадлежности $\mu_F(X_{*\Delta} \in \tilde{A}_k(X))$ не удастся. Именно в этом случае статистические свойства переменных-посылок служат дополнительной информацией для расчета обоснованных значений оценок $\mu_F(X_{*\Delta} \in \tilde{A}_k(X))$. При этом для различных форм описаний значений входных множеств, представляющих ситуации принятия решений при неопределенности ($\hat{X}_*$), требуются различные методики вычисления степеней принадлежности $\mu_F(\hat{X}_* \in \tilde{A}_k(X))$.

Классический модуль нечеткого управления (НУ) основан на правилах нечеткой импликации $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$, и состоит из следующих эта-

пов [2, 3]: оценка текущего состояния и «фаззификация» входных данных (оценка степеней принадлежности $\mu_F(\hat{X}_* \in \tilde{A}_k(X))$), модификация нечетких переменных-заключений для всех правил, формирование результирующих нечетких множеств (или же их суперпозиции), отображение результирующих нечетких множеств в единственное управляющее воздействие («дефаззификация, скаляризация») методами центра тяжести, максимума функции принадлежности и др. Заметим, что метод выбора НУ априори предполагает одинаковыми и поэтому не учитывает вероятности возможных значений как входных, так и выходных параметров, относительно которых, в конечном счете, и вычисляется управление.

Метод нечетко-статистического управления отличается тем, что учитывает различие вероятностей возможных значений входных и выходных параметров. Это является содержательным основанием для применения НСУ как при решении задач фаззификации, так и при выборе результирующего воздействия, дефаззификации, что позволило определить НСУ как модификацию классического нечеткого управления [1, 5]. Наглядно НСУ может быть представлено в виде графической схемы (рис. 1), которая далее определена аналитически, следуя [1, 2].

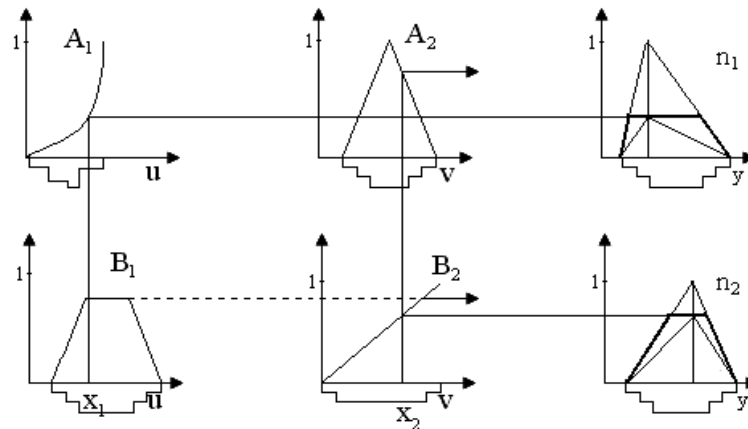


Рис. 1. Графическая схема нечетко-статистического управления

Рис. 1 соответствует примеру задачи выбора управления, когда правила $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$ имеют две нечеткие переменные-посылки ($\tilde{X}_1, \tilde{X}_2$) и нечеткую переменную-вывод $\tilde{Y}$. Значения величин ($\tilde{X}_1, \tilde{X}_2$) измеряются с помощью показателей $\{u, v\}$. Правило, изображенное на рис. 1 сверху, соответствует ситуации (A_1, A_2), частота которой при наблюдениях составляла n_1 , в то время как частота ситуации (B_1, B_2)

равнялась n_2 . В виде условных гистограмм $G(X_i); i \in \{1, 2\}$ на рис. 1 представлены свойства неоднородности частот возможных значений переменных-посылок и переменных-заключений. В качестве результирующих значений величин, используемых для установления степеней принадлежности наблюдаемых переменных-посылок, на рис. 1 указаны (X_1, X_2).

В рамках НСУ эти значения не определяют однозначно по данным наблюдений (измере-

ний состояний системы), а рассчитываются на основе процедур, подобных вычислению математического ожидания случайных величин, представленных гистограммами. Как показано на рис. 1, переменные-заклучения $\tilde{Y}$ могут модифицироваться на основе измерений степеней принадлежности посылок в соответствии с различными правилами – Мамдани (минимума), Ларсена (произведения) и др. [2]. В соответствии с одной из основных форм классической процедуры нечеткого управления модификация переменных-заклучений $\tilde{Y}$ выполняется с использованием правила Мамдани для степеней принадлежности переменных-посылок (модификация правой части правила по уровню меньшей из степеней принадлежности посылок).

Указанная возможность модификации нечеткого управления использует определение вероятности расплывчатого [6, с. 183], согласно которому расплывчатое событие A в пространстве R^n с заданной в нем вероятностной мерой P является расплывчатым подмножеством, когда его функция принадлежности μ_A измерима. При этом вероятность соответствующего расплывчатого события задается интегралом

$$P(A) = \int_{R^n} \mu_A(x) dP = \int_{R^n} (\mu_A(x) f_A(x)) dx, \quad (1)$$

где $f_A(x)$ – функция плотности. Таким образом, вероятность расплывчатого события определяется с помощью оператора математического ожидания $P(A) = E(\mu_A)$ (1), где нечеткие и статистические величины входят подобным образом.

Схема рис. 1 отражает следующие этапы процедуры НСУ:

1) расчет результирующих значений величин X_i для установления степеней принадлежности наблюдаемых переменных-посылок; далее считается, что рассматриваемая ситуация управления (X_*) может быть оценена с точностью до некоторого интервала $(X_{*\Delta} \in [X_{(-)}, X_{(+)}])$. Для вычисления X_i и далее $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ используются следующие методы. Во-первых, X_i является математическим ожиданием с учетом гистограмм распределения в интервале $[X_{i(-)}, X_{i(+)}]$ возможных значений переменных, т.е.

$$X_i = \int_{x \in [X_{i(-)}, X_{i(+)}]} x g_i(x) dx, \quad (2)$$

где $g_i(x)$ есть функция плотности для данных $G(X_i)$; $i \in \{1, 2\}$. На основании значения X_i стандартным способом, изображенном на рис. 1, вычисляется $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$, завершая процедуру фаззификации.

Во-вторых, величина $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ вычисляется согласно (1) как нормированное взвешенное значение $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ для интервала неопределенности $[X_{i(-)}, X_{i(+)}]$:

$$\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X)) = \frac{\int_{x \in [X_{i(-)}, X_{i(+)}]} \mu_{F_i}(x \in A_i(x)) g_i(x) dx}{\int_{x \in [X_{i(-)}, X_{i(+)}]} g_i(x) dx}. \quad (3)$$

Обозначения уравнения (3) соответствуют приведенным выше величинам.

2) На основе $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ (3) посылки для правил $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$ рассчитывается $\mu_{F_j}\{\pi_j(X \mapsto Y)\}$ – мера его соответствия оцениваемой ситуации выбора управления, согласно НУ [2]. Правила со значениями μ_{F_j} меньше заданного уровня могут быть отброшены. Исключение несущественных правил также может быть выполнено путем сравнительного анализа относительных значений μ_{F_j} . При исключении правил следует учитывать и частоты n_1, n_2 появления ситуаций $(A_1, A_2), (B_1, B_2)$ и др.

3) Модификация нечетких моделей переменных-заклучений $\tilde{Y}$ с использованием величин $\mu_{F_j}\{\pi_j(X \mapsto Y)\}$ [2].

4) Формирование суперпозиции правил $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$ в соответствии с [2], которая дополняется построением интегральной по всем правилам гистограммы $G(Y)$, характеризующей различные частоты реализации возможных значений переменной-решения.

5) Расчет результирующей величины нечетко-статистического управления согласно

$$Y_* = \frac{\int_{y \in [Y_{(-)}, Y_{(+)}]} y \mu_F(y \in \tilde{Y}(y)) g_Y(y) dy}{\int_{y \in [Y_{(-)}, Y_{(+)}]} \mu_F(y \in \tilde{Y}(y)) g_Y(y) dy}. \quad (4)$$

Предлагаемое обобщенное нечетко-статистическое управление, основанное на исполь-

зовании в качестве характеристики неопределенности решения X величины

$$\varphi(x) = \mu(x) \cdot p(x), \quad (5)$$

представляющей произведение степени принадлежности $\mu(x)$ на плотность вероятности $p(x)$ в произвольной допустимой точке X . В стандартном методе нечеткого управления на этапе «скаляризации» при выборе величины управления часто используют оценку центра тяжести вида

$$x_{цф} = \frac{\int_a^b x \varphi(x) dx}{\int_a^b \varphi(x) dx}. \quad (6)$$

Заметим, что в предлагаемом случае в (6) используется характеристика неопределенности (5), а не $\mu(x)$, как в известных процедурах [2, 3].

Модуль нечетко-статистического управления Такаги-Сугено

Нечеткое управление Такаги-Сугено отличается тем, что нечеткие величины присутствуют лишь в посылках правил управления, в то время как заключительное решение выбирается на основе детерминированных функций [2]. Степени неопределенности, характеризующие исследуемое состояние системы, являются оценками весовых коэффициентов при вычислении интегрального показателя, учитывающего результаты применения каждого из отдельных правил. В модифицированном модуле нечетко-статистического управления Такаги-Сугено при расчетах характеристик неопределенности каждого из правил вместо степеней принадлежности $\mu_F(\hat{X}_* \in \tilde{A}_k(X))$ правил используются обобщенные значения вида (1), (5), в то же время остальные этапы вычисления значений управлений выполняются в соответствии с [2] (рис. 2).

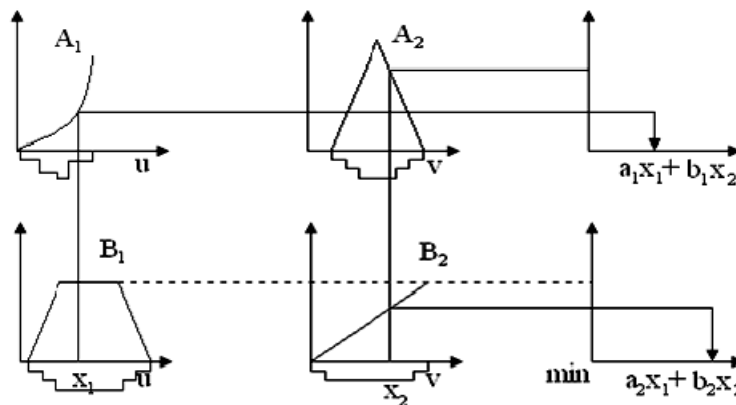


Рис. 2. Графическая схема нечетко-статистического управления Такаги-Сугено

Выбор нечетко-статистического управления с использованием отношения У. Шарпа

С учетом обобщенной характеристики неопределенности (5) возможно развитие метода нечетко-статистического управления за счет привлечения методик принятия экономически обоснованных решений в условиях неопределенности, в частности, использования отношения У. Шарпа [1]. Как известно, это отношение применяется при выборе оптимальных инвестиционных портфелей путем сравнения относительных показателей в соответствии со следующим критерием:

$$v_i = \frac{m_i - r_n}{\sigma_{ni}} \rightarrow \max_i, \quad (7)$$

где m_i – математическое ожидание, r_n – установленный предельно допустимый уровень, σ_{ni} – среднее квадратическое отклонение искомой характеристики (эффективности портфеля). Таким образом, предпочтение отдается тому решению, у которого больше относительное приращение качества с учетом неопределенности, представленной σ_n .

Модификация НСУ с использованием критерия (7) – НСУШ – выполняется следующим образом. На основе уравнения (6) вычисляется значение нечетко-статистического управления, в точке решения рассчитывается оценка (4), обозначенная как φ_* :

$$C_* = \varphi(x_{ц\varphi}) = \varphi_*, \quad (8)$$

в качестве φ_* может выбираться и некоторый другой уровень допустимых оценок степеней принадлежности возможных решений. Далее формируется суженная область решений, для которой выполнены условия вида:

$$D_\varphi(x) = \{x \mid \varphi(x) \geq \varphi_*\}. \quad (9)$$

Уточнение решения модифицированного управления производится в области, удовлетворяющей условиям (5), на основе критерия вида:

$$v_\varphi(x): \frac{[\varphi(b) - C_*]^2}{Q^2(b)} \rightarrow \max_{b \in D_\varphi}, \quad (10)$$

где величина

$$Q^2(b) = \int_a^b (x - b)^2 \varphi(x) dx \quad (11)$$

отражает рассеяние (9) относительно возможного решения « b ». Содержательно такое решение устанавливает некоторую точку « b » в области (9), для которой дополнительное относи-

тельное приращение целевого показателя с учетом риска (характеристика неопределенности искомой величины) максимально.

Различие решений нечеткого и нечетко-статистического управления в приведенных выше различных формах показывает следующий пример (рис. 3) [5]. На рисунке представлены следующие характеристики ситуации выбора оптимального управления с учетом различных видов неопределенности: $M(X)$ – степень принадлежности, $P(X)$ – плотность вероятности, $Fi(X) = M(X) \cdot P(X)$ – аналог отношения У. Шарпа $V(b)$, $Fi(X) > 0,38$ задано для выбора управления на основе $V(X)$. Для классического нечеткого управления (НУ) и различных видов НСУ получены следующие решения: НУ на основе «центр тяжести» ($M(X)$) – $X = 1$, НСУ ($Fi(X)$) – $X = 1,2$, НСУШ (5) ($V(X)$) $X = 1,28$, максимум $Fi(X)$ в точке управления $X = 4/3$. Таким образом, учет наряду с нечеткой также и статистической информации, дополненной предпочтениями в условиях риска, приводит к существенному различию в рекомендуемых рациональных управлениях.

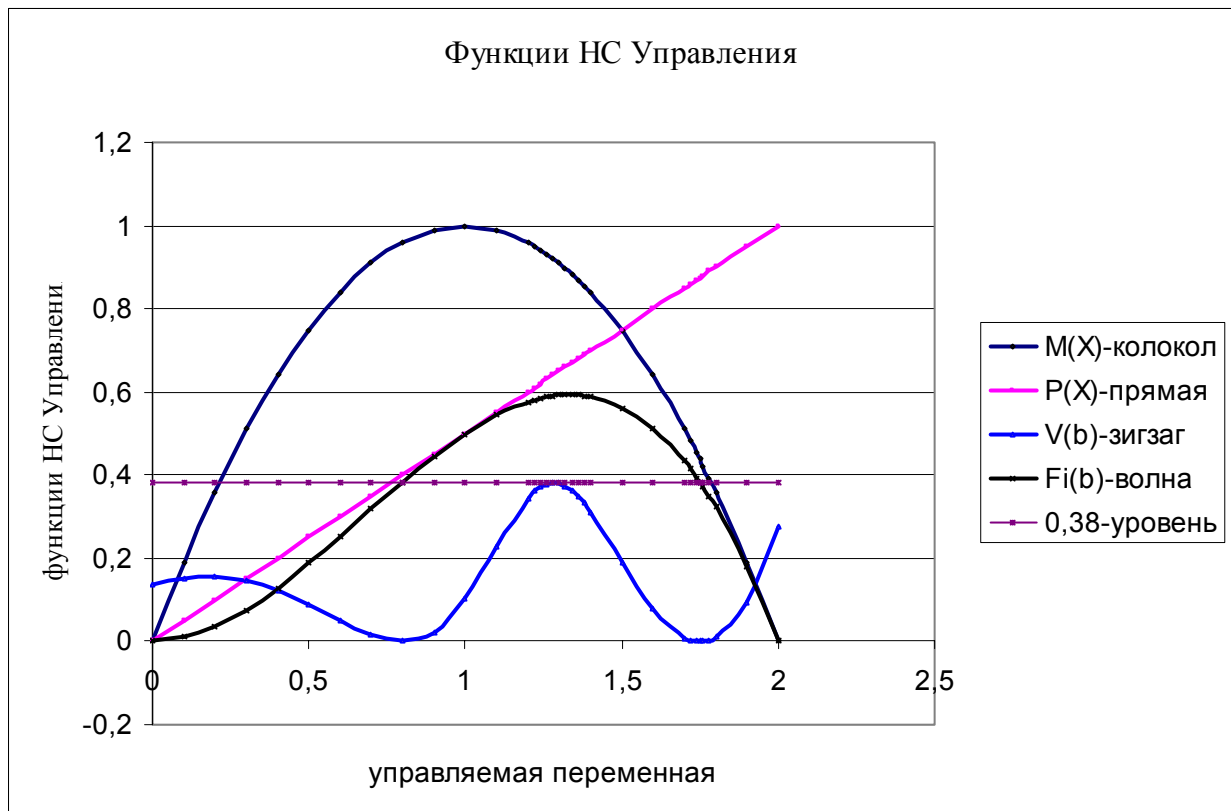


Рис. 3. Реализация различных форм выбора управления с учетом нечетких

Выводы

Разработаны модели, методы и адаптивные автоматизированные процедуры, использующие нечетко-статистическое моделирование и управление на основе данных наблюдений. При этом предложен метод формирования нечетко-статистического управления с использованием отношения У. Шарпа [4]. В них развитие процедур классического нечеткого управления [2, 3] получено за счет дополнительного учета статистической неоднородности входных переменных и формирования соответствующих управлений.

Показано, что в автоматизированных системах управления (АСУ) железнодорожного транспорта имеется возможность введения в процедуры управления дополнительных механизмов адаптации, связанных с данными наблюдений, мониторинга исследуемых процессов. Статистические данные, накапливаемые в базах знаний АСУ, позволяют выполнять автоматическое или автоматизированное моделирование величин, используемых в моделях управления, технологическими и экономическими процессами, в том числе на основе нечетких продукционных баз знаний. В последнем случае могут быть непосредственно применены предложенные выше методы НСУШ.

Для реализации предложенных методов развиты соответствующие информационные технологии адаптивного нечетко-статистического моделирования и управления по данным наблюдений.

Они частично реализованы в задачах из области моделирования, управления и планирования на железнодорожном транспорте, в автоматизированных системах управления грузовыми перевозками на полигоне железных дорог Украины и некоторых других технологических и экономических сферах. Реализации НСУ и НСУШ показали их достаточно высокую эффективность и универсальность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скалозуб, В. В. Метод и информационные технологии нечетко-статистического управления [Текст] / В. В. Скалозуб // Системні технології. – 2008. – № 1' (50). – С. 120-127.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с.
3. Яхьяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети [Текст] / Г. Э. Яхьяева. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, БИНОМ, 2008. – 316 с.
4. Шарп, У. Инвестиции [Текст] / У. Шарп. – М.: ИНФРА-М, 1994. – 268 с.
5. Скалозуб, В. В. Нечетко-статистическое и нейронно-сетевое моделирование и управление в задачах экономики. [Текст] / В. В. Скалозуб, В. Вл. Скалозуб // Тез. докл. VIII межд. науч. конф. «Проблемы экономики транспорта». – Д.: ДИИТ, 2009. – С. 146-147.
6. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – С. 172-215.

Поступила в редколлегию 08.07.2009.

Принята к печати 03.12.2009.

ЗМІНА ТВЕРДОСТІ МЕТАЛУ ПО ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ПІСЛЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЗУНА

Розглянуто питання стосовно оцінки характеру зміни твердості вздовж дефекту, сформованого під час експлуатації залізничного колеса.

Рассмотрены вопросы оценки характера изменения твердости вдоль дефекта, сформированного при эксплуатации железнодорожного колеса.

The issues re. estimation of character of hardness change along a defect formed during operation of a railway wheel are considered.

В сучасних умовах експлуатації залізничного транспорту, яким відповідають високі рівні тягових та гальмівних потужностей, процес руху відбувається на межі зчеплення. На підставі цього, питання оптимального структурного стану металу залізничних коліс та бандажів набуває достатньо актуального значення. Сьогодні, при виробництві залізничних коліс для внутрішнього використання в Україні, застосовуються вуглецеві сталі на основі базового складу, який відповідає сталі 60 з мікродобавками легуючих елементів. За стехіометрією в таких сталях об'ємна частка структурно вільного фериту має значення в межах 30...14 %.

На основі відомих наукових даних [1, 3, 4], підвищення твердості та міцності вуглецевих сталей, які використовуються для виготовлення залізничних коліс, може бути досягнуто за рахунок упровадження технологій термічного зміцнення. Так, піддаючи прискореному охолодженню обід залізничного колеса (по поверхні кочення), формується визначений градієнт структур залежно від швидкості тепловідводу, який досягається. Якщо в тонкому приповерхневому прошарку металу існує висока вірогідність розвитку структурних перетворень за зсувним або проміжним механізмом (охолодження до температур 400...350 °C), то вже після припинення процесу примусового охолодження послідовний розігрів указаних прошарків металу за рахунок внутрішніх об'ємів приведе до визначеного розпаду мартенсито-бейнітних структур. В цьому випадку формуються структури, по зовнішньому вигляду подібні голчастій будові, але з приблизно рівномірним розподілом різної форми і дисперсності часток цементиту [1, 3]. З іншого боку, основний об'єм металу ободу, який піддається примусовому

охолодженню, супроводжується перетворенням аустеніту за дифузійним механізмом, тобто формується суміш із феритних та перлітних ділянок. Причому, чим до більш низької температури охолоджується визначений прошарок ободу, тим формується більш дисперсна перлітна колонія. Одночасно спостерігається зменшення об'ємної частки структурно вільного фериту за рахунок формування псевдоевтектоїда. Необхідно враховувати, що для сталі марки 60, в межах марочного складу для максимальної концентрації вуглецю, об'ємна частка структурно вільного фериту, який виділяється при охолодженні по велико-кутових границях аустенітних зерен, може зменшуватись до двох разів. Таким чином, формування псевдоевтектоїда приведе до додаткового зменшення указаної структурної складової та врешті-решт можуть бути досягнуті умови, коли взагалі присутність структурно вільного фериту буде складно визначити в структурі сталі. Але треба пам'ятати, що присутність визначеної об'ємної частки структурно вільного фериту має вплив на досягнення необхідного рівня ударної в'язкості металу залізничних коліс [2]. На підставі цього, можна з великою вірогідністю вважати, що підвищення міцності сталі за рахунок збільшення вмісту вуглецю з подальшим термічним зміцненням може привести до зниження ударної в'язкості – однієї з характеристик, яка відповідає за опір металу процесам зародження та зростання тріщин при експлуатації залізничних коліс.

Метою роботи є оцінка можливої зміни рівня твердості металу по поверхні кочення залізничного колеса після формування повзуна.

Матеріалом для досліджень були залізничні колеса підвищеної твердості (КПТ) з максима-

льним вмістом вуглецю в межах марочного складу виробництва ВАТ «Інтерпайп НТЗ», які були вилучені з експлуатації з причини виникнення дефектів на поверхні кочення. В якості характеристики міцності була вибрана твердість, яку вимірювали за методом Бринелля, з використанням переносного приладу DINA TEST-SC Ernst.

На рис. 1, 2 наведено вигляд сформованих поверхневих ушкоджень двох залізничних коліс однієї колісної пари.



Рис. 1. Зовнішній вигляд ушкодження по поверхні кочення залізничного колеса 1



Рис. 2. Зовнішній вигляд ушкодження по поверхні кочення залізничного колеса 2

З урахуванням місць розташування ушкоджень та за зовнішніми ознаками, можна з достатньою впевненістю вважати, що причиною формування дефекту (вищербини металу) є по-

взун [3]. Характер зміни твердості металу по поверхні кочення вздовж повзуна для досліджуваних коліс наведено на рис. 3, 4. За зовнішніми ознаками наведені ушкодження підрозділяють на дві підгрупи: перша – це коли виникають вищербини обумовлені формуванням розшарувань металу на визначеній глибині від поверхні кочення і друга – коли розшарування відсутні. Ушкодження, яке наведено на рис. 1, може бути віднесене до першої групи. Незважаючи на те, що прошарок металу, на якому проводились вимірювання твердості (рис. 3), в дійсності частково був відокремлений розшарування на глибині до 5 мм), характер зміни HB не має випадкового вигляду. Як для першого, так і для другого коліс (рис. 3, 4), по мірі віддалення від візуально визначеної границі появи повзуна, спостерігається монотонне підвищення твердості.

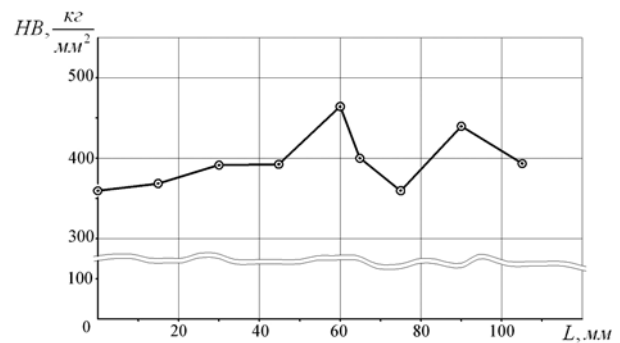


Рис. 3. Зміна значень твердості HB при вимірюванні у вздовж повзуна на колесі 1

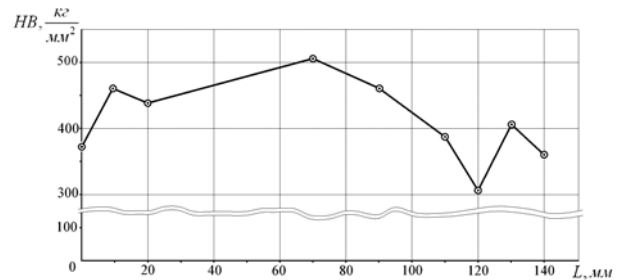


Рис. 4. Зміна значень твердості HB при вимірюванні у вздовж повзуна на колесі 2

Приблизно в середині повзуна досягаються найвищі значення HB . Наведений екстремальний характер зміни твердості вздовж повзуна має своє пояснення. Так, прошарок металу залежно від відстані від поверхні кочення має визначений градієнт накопичених дефектів кристалічної будови. В процесі експлуатації залізничне колесо, за рахунок взаємодії з гальмівними колодками, піддається розігріву по поверхні кочення. Причому, як і розподіл дефектів кристалічної будови, які введені в метал

колеса від взаємодії з рейкою, так і температура розігріву знижується від поверхні кочення у глиб ободу. Таким чином, можна з упевненістю вважати, що залежно від відстані від поверхні кочення углиб металу ободу маємо набір структур, в яких відбулися процеси структурних перетворень у визначеному порядку. Найбільш наближені до поверхні кочення прошарки металу з підвищеним ступенем пластичної деформації (максимальна накопичена щільність дефектів кристалічної будови, в першу чергу дислокацій) можуть бути розігріті до температур початку фазових перетворень [4]. Для більш заглиблених об'ємів стан металу відповідає умовам розвитку процесів структурних перетворень при одночасному зменшенні ступеня наклепу і температури нагріву. Таким чином, до формування повзуна обід залізничного колеса після процесу гальмування, за рахунок розвитку процесів динамічної рекристалізації в найбільш наближених до поверхні кочення об'ємах, повинен мати більшу ступінь зниження твердості порівняно з більш заглибленими прошарками. Річ у тому, що коли ступеня деформації недостатньо або температура занадто низька для розвитку рекристалізації, зміна комплексу властивостей обумовлена протіканням процесів полігонізації [1, 3] або деформаційного старіння [1]. Справа у тому, що для сталей з підвищеним вмістом вуглецю, таких як наприклад сталь марки 60, чим вище ступінь зміцнення за рахунок пластичної деформації, тим вище буде зниження характеристик міцності за рахунок розвитку рекристалізації [1]. З іншого боку, неоднорідність наклепу металу по ширині поверхні кочення, частота, час та швидкість розігріву можуть суттєво впливати на градієнт структурного стану металу ободу і, як наслідок цього, змінювати міцність в широкому інтервалі значень.

Формування повзуна веде до підвищення температури розігріву металу з одночасним зніманням розігрітого прошарку металу. Таким чином, у першому наближенні можна вважати, що після знімання сегменту металу по поверхні кочення формується площадка, а підвищений розігрів компенсується тепловідводом по всій площині контакту до холодних об'ємів колеса та рейки. На підставі розвитку процесів за наведеною схемою, повзун повинен привести до зниження твердості металу на його периферійних ділянках.

Аналіз експериментальних даних по вимірюванню твердості вздовж повзунів на двох колесах однієї колісної пари якісно підтверджує наведені пояснення та узагальнення. Максимальні значення HV (положення екстремуму на залежності HV від L , рис. 3, 4) приблизно відповідають середині повзуна. Як для першого, так і для другого колеса на залежності $HV = f(L)$ спостерігається існування другого екстремуму. Після заміру геометричних розмірів коліс було визначено, що наведені екстремальні значення HV можуть бути пов'язані з існуванням додаткових, значно менших розмірів повзунів з границями, які складно визначити. Це можуть бути повзуни, які в процесі експлуатації колеса були частково закатані, хоча характер зміни HV залишився якісно незмінним.

Висновки

1. Екстремальний характер зміни твердості по поверхні кочення колеса вздовж площадки формування повзуна обумовлений різним ступенем розвитку процесів структурних перетворень при нагріві холоднодеформованого металу.
2. Несвоєчасне визначення повзунів малих розмірів може привести до їх вуалізації при експлуатації коліс і, як наслідок, до розвитку розглянутих процесів структурних перетворень в металі до формування ушкоджень по поверхні кочення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Терентьев, В. Ф. Влияние размера зерна на сопротивление усталости металла [Текст]. – В кн.: Усталость и вязкость разрушения металлов / В. Ф. Терентьев, В. Г. Пойда. – М.: Наука, 1974. – С. 109-140.
3. Дефекти залізничних коліс [Текст] / І. О. Вакулєнко [та ін.]. – Д.: Маковецький, 2009. – 112 с.
4. Стародубов, К. Ф. Влияние термической обработки на прочность железнодорожных колес [Текст]. – В кн.: Вопросы производства цельнокатаных колес / К. Ф. Стародубов, В. Я. Савенков. – М.: Металлургия, 1969. – С. 71-77.

Надійшла до редколегії 11.01.2010.

Прийнята до друку 22.01.2010.

Л. І. ВАКУЛЕНКО (Придніпровська залізниця, Дніпропетровськ),
Ю. Л. НАДЕЖДІН (ДПТ)

ОЦІНКА СТУПЕНЯ ЗНЕМІЦНЕННЯ ПРИ ВІДПУСКУ ЗАГАРТОВАНОЇ КОЛІСНОЇ СТАЛІ

Розглянуто питання стосовно оцінки зміни твердості та швидкості розповсюдження звукових коливань після відпуску загартованої колісної сталі.

Рассмотрены вопросы оценки изменения твердости и скорости распространения звуковых колебаний после отпуски закаленной колесной стали.

The issues re. estimation of changes in hardness and sound vibration propagation velocity after tempering the hardened railway wheel steel are considered.

В сучасних умовах експлуатації залізничного транспорту питання підвищення експлуатаційної безпеки являється достатньо актуальною проблемою. Однією із складових при вирішенні наведеної проблеми являється розробка пропозицій по застосуванню способів діагностування структурного стану металевих матеріалів, в тому числі ультразвукові [1]. Порівняно з ультразвуковою дефектоскопією, вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань має визначене значення [2]. Аналіз відомих експериментальних даних [1 – 3] свідчить, що швидкість розповсюдження звукових коливань є достатньо чутливою характеристикою стосовно зміни розміру зерна матриці металу [3], викривлень другого роду кристалічної решітки [1 – 3], твердості [3, 4] та ін.

Метою роботи є оцінка можливості прогнозування зміни твердості при відпуску загартованої вуглецевої сталі.

Матеріалом для дослідження була вуглецева сталь марки 60 залізничного колеса виробництва ВАТ «Інтерпайп НТЗ». Різний рівень зміцнення досягали за рахунок гартування від нормальних температур нагріву з послідовним відпуском при різних температурах, тривалістю 1 год. Твердість сталі оцінювали за методикою Віккерса при навантаженні на індентор 10 кг (H_v). Швидкість розповсюдження звукових коливань вимірювали з використанням приладу ПС-12 з робочою частотою 1024 Гц. Ширину лінії рентгенівської інтерференції визначали, використовуючи методики рентгеноструктурного аналізу.

При відпуску загартованої вуглецевої сталі основним процесом є розпад пересиченого твердого розчину вуглецю в α -залізі [5]. Враховуючи високий ступінь пересичення вуглецем α -твердого розчину і одночасну нестабільність

сформованих кристалів мартенситу [5, 6], невеликих за тривалістю витримок при нагріві до температур 100 °С вже достатньо для початку перерозподілу атомів вуглецю. Наведене положення підтверджується експериментальними даними по впливу температури відпуску загартованої сталі марки 60 на ширину лінії рентгенівської інтерференції (211) – B_{211} (рис. 1). Так, незначна немонотонність при температурах 50...75 °С може бути пов'язана з етапами розвитку процесів розупорядкування атомів вуглецю.

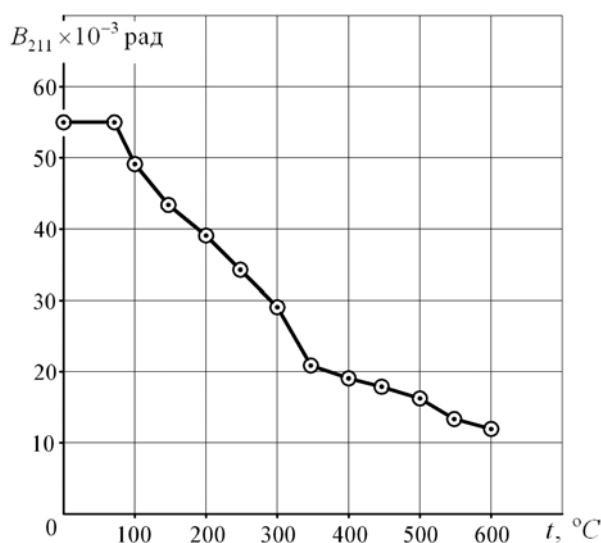


Рис. 1. Значення ширини лінії рентгенівської інтерференції (211) залежно від температури відпуску загартованої сталі марки 60

Подальше підвищення температури відпуску до 300 °С супроводжується закономірним зниженням викривлень кристалічної решітки, що за рахунок зниження опору переміщенню дислокацій під час навантаження сталі повинно приводити до знеміцнення металу. Продовження підвищення температури відпуску вище

400 °C веде до початку розвитку процесів коалесценції карбідної фази і, як наслідок цього, зниження мікронапружень та росту розміру областей когерентного розсіювання. Враховуючи, що після відпуску при температурах 350...400 °C величина мікронапружень досягає мінімальних значень [6] і в подальшому не має вагомого впливу на рівень міцності та твердості, розмір областей когерентного розсіювання стає характеристикою, яка визначає рівень знеміцнення сталі. Наведене положення підтверджується формуванням перегину на залежності B_{211} від температури відпуску.

Характер зміни твердості при відпуску загартованої сталі (рис. 2) достатньо однозначно відповідає сумарному впливу мікронапружень і розміру областей когерентного розсіювання (оцінка за величиною B_{211}).

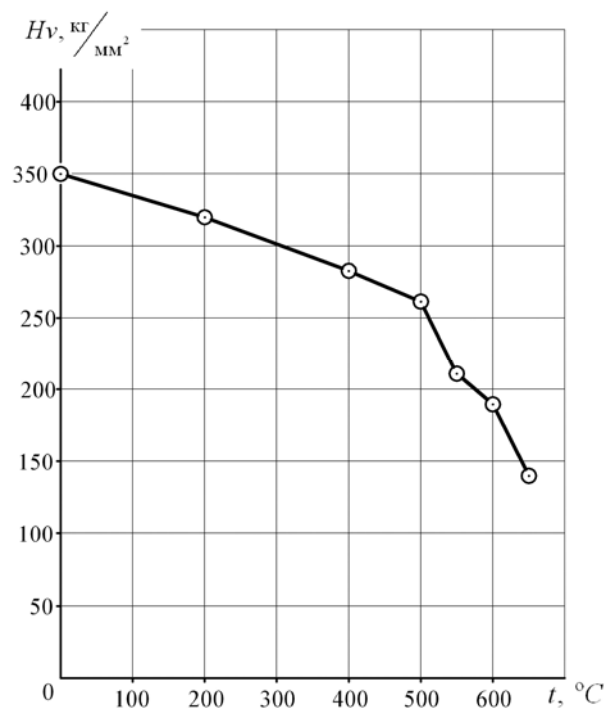


Рис. 2. Залежність твердості за Вікерсом від температури відпуску загартованої сталі марки 60

На підставі аналізу залежностей B_{211} і H_v від температури відпуску можна вважати, що існує взаємозв'язок між ними. Дійсно, після нанесення відповідних значень B_{211} проти H_v (рис. 3) можна говорити про існування однозначного зв'язку з високим коефіцієнтом кореляції. Причому необхідно відзначити, що однозначність зв'язку зберігається незалежно від зміни основного чинника впливу: мікронапружень при нагріві до 350 °C [6] або областей ко-

герентного розсіювання для температур після 350 °C.

Вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань показали відповідну залежність від розвитку процесів знеміцнення в загартованій сталі (рис. 4).

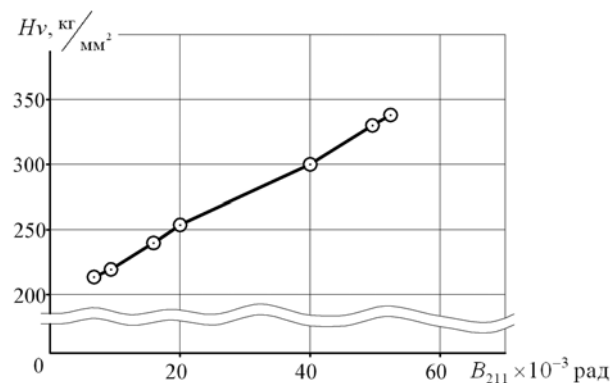


Рис. 3. Взаємозв'язок між твердістю і шириною лінії (211) загартованої та відпущеної сталі марки 60

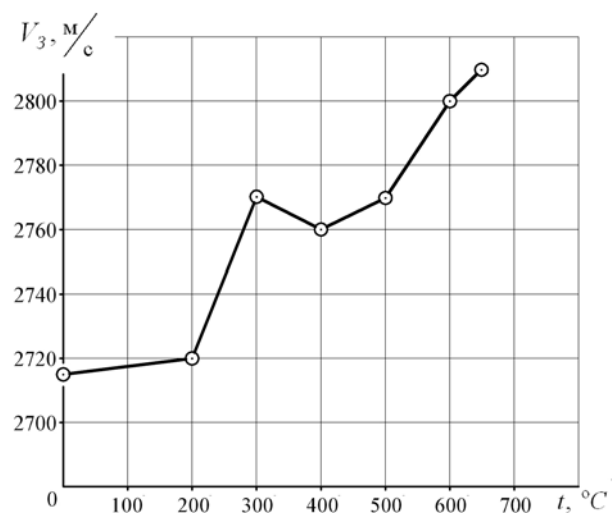


Рис. 4. Залежність швидкості розповсюдження звукових коливань від температури відпуску загартованої сталі марки 60

Враховуючи, що процес гартування сталі супроводжується накопиченням великої щільності дефектів кристалічної будови з одночасним високим рівнем мікронапружень від пересичення вуглецем твердого розчину, швидкість розповсюдження звукових коливань за даних умов мінімальна. При нагріві загартованої сталі розвиток процесів знеміцнення супроводжується зростанням урівноваження структури [1, 2], що в свою чергу може розглядатися як зниження кількості чинників, які перешкоджають розповсюдженню звукових коливань. Таким чином, швидкість звуку повинна зростати, що в дійсності і спостерігається (рис. 4). Аналіз характеру залежності величин H_v і V_3 від темпе-

ратури відпуску вказує на існування взаємозв'язку між ними (рис. 5). З іншого боку, аналогічне співвідношення існує між V_3 і ступенем нерівноважності структури, наприклад з величиною B_{211} .

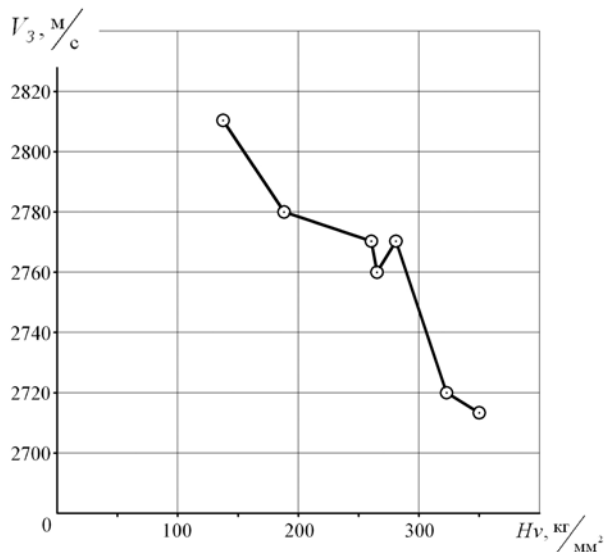


Рис. 5. Взаємозв'язок між V_3 і Hv загартованої і відпущеної при різних температурах сталі марки 60

Наведені результати (існування кореляційного зв'язку між V_3 і твердістю) не є несподіваними, отримані раніше подібні співвідношення [1 – 4] вказують на можливість застосування методу вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань для аналізу структурних перетворень в об'ємі металу поблизу поверхні кочення залізничних коліс і бандажів. Річ у тому, що в реальних умовах експлуатації в залізничних колесах та бандажах, за рахунок одночасного складного впливу пластичної деформації та циклічного змінення етапів нагріву та охолодження, відбуваються структурні перетворення, які у більшості випадків носять непередбачуваний характер. Отже, послідовне вивчення окремих процесів структурних перетворень із застосуванням різноманітних

методів дослідження є достатньо актуальним питанням.

Висновки

1. При відпуску загартованої вуглецевої сталі розвиток процесів структурних перетворень супроводжується зниженням міцності з одночасним зростанням швидкості розповсюдження звукових коливань.

2. За умови незмінності структурного стану металу, твердість і швидкість розповсюдження звукових коливань мають обернено пропорційний зв'язок.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Муравьев, В. В. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки [Текст] / В. В. Муравьев // Дефектоскопия. – 1989. – № 2. – С. 66-68.
2. Муравьев, В. В. Влияние термической обработки на скорость ультразвука в алюминиевых сплавах [Текст] / В. В. Муравьев // Дефектоскопия. – 1989. – № 11. – С. 65-72.
3. Вакуленко, И. А. О влиянии размера зерна феррита и объемной доли аустенита на зависимость скорости распространения звуковых колебаний от твердости стали [Текст] / И. А. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин, В. М. Емельянов // Дефектоскопия. – 1993. – № 7. – С. 32-36.
4. Влияние размера зерна феррита в низкоуглеродистой горячекатаной стали на скорость распространения звуковых колебаний в процессе нагружения [Текст]. – В кн.: Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии / И. А. Вакуленко [и др.]. – Д.: ИЧМ НАНУ, 2004. – С. 198-202.
5. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
6. Курдюмов, Г. В. О кристаллической структуре закаленной стали [Текст] / Г. В. Курдюмов // ФММ. – 1966. – т. 22, вып. 5. – С. 752-765.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 20.01.2010.

В. А. ЗАБЛУДОВСКИЙ, В. В. ДУДКИНА (ДИИТ)

ЛОКАЛЬНОЕ ЛАЗЕРНО-СТИМУЛИРОВАННОЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ НИКЕЛЯ

Розроблено метод отримання локальних нікелевих покриттів без застосування масок за допомогою використання лазерного випромінювання. Розраховано параметри локальних покриттів нікелю та оцінено швидкість процесу електроосадження.

Разработан метод получения локальных никелевых покрытий без применения масок с помощью использования лазерного излучения. Рассчитаны параметры локальных покрытий никеля и оценена скорость процесса электроосаждения.

The mask-free method for obtaining the local nickel coatings using laser radiation is developed. The parameters of local nickel coatings are calculated. The rate of electroplating process is estimated.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время процесс электроосаждения, стимулированный лазерным излучением с целью ускорения процесса электрометаллизации, является предметом повышенного интереса индустрии металлических покрытий [1]. В процессе производства микроэлектронных устройств существующие процессы создания сложных металлизированных структур требуют нескольких особенно сложных этапов по изготовлению масок, процесса фотолитографии и т.д. Это повышает сложность контроля процесса и стоимость производства. Развитие процесса нанесения металлических покрытий с помощью лазера является весьма многообещающей технологией для быстрого избирательного нанесения пленок.

Цель данной работы заключалась в определении оптимальных условий локального лазерно-стимулированного электроосаждения никеля для создания контактных площадок печатных плат.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Электроосаждение пленок никеля осуществлялось из стандартного сернокислого электролита следующего состава (г/л): Ni_2SO_4 – 300, H_3BO_3 – 30, $\text{Na}_2\text{S O}_4$ – 50, pH 6. В качестве источника излучения использовали газоразрядный CO_2 -лазер ($\lambda = 10,6$ мкм) мощностью 25 Вт при генерации в непрерывном режиме. Диаметр лазерного пучка составлял 10 мм.

Температура водного раствора электролита определялась с помощью медь-константановой термодпары. Стационарное значение термо-э.д.с. устанавливалось за время 150...200 с и измерялось цифровым вольтметром В7-38.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе [2] приведены результаты исследования спектров пропускания водных растворов электролитов. Установлено, что в ИК-диапазоне излучения водные растворы электролитов имеют низкую пропускательную способность, а на длине волны излучения газоразрядного CO_2 -лазера ($\lambda = 10600$ нм ($943,4 \text{ см}^{-1}$)) их коэффициент пропускания составляет 10 %. Но благодаря сильному локальному нагреву, т.е. высокому температурному градиенту в прикатодной области при облучении источником с достаточно высокой мощностью излучения (CO_2 -лазер), имеет место не только эффект микроперемешивания, но и локальное кипение водного раствора электролита, что значительно усиливает процесс электроосаждения в области облучаемой катодной поверхности.

На рис. 1 показана вольтамперная зависимость, из которой видно, что с увеличением напряжения, подаваемого на катод, кривая $I(U)$ восстановления никеля при выключенном источнике лазерного излучения (кривая 2) располагается ниже кривой $I(U)$ лазерно-стимулированного процесса электроосаждения (кривая 1). Причем, при лазерном облучении происходит уменьшение напряжения электроосаждения Ni.

Эффективность лазерного воздействия оценивалась с помощью коэффициента лазерного ускорения $K_y = j/j_0$, который является также мерой селективности процесса и равен отношению плотности тока лазерно-стимулированного режима электроосаждения к плотности тока при выключенном источнике лазерного излучения.

Из хода кривой $K_y(U)$ (рис. 2) видно, что максимальное ускорение процесса электрооса-

ждения никеля $K_y = 166$ наблюдается при напряжении на катоде $U = 76,13$ мВ, что соответствует плотности тока $j = 77,16$ А/м². При напряжениях $U < 113$ мВ при выключенном источнике лазерного излучения и $U < 30$ мВ при лазерном облучении электроосаждение визуально не наблюдается. При $U > 60$ мВ, что соответствует плотности катодного тока при лазерном облучении 40 А/м², наблюдается делокализация лазерно-стимулированного процесса электроосаждения никеля.

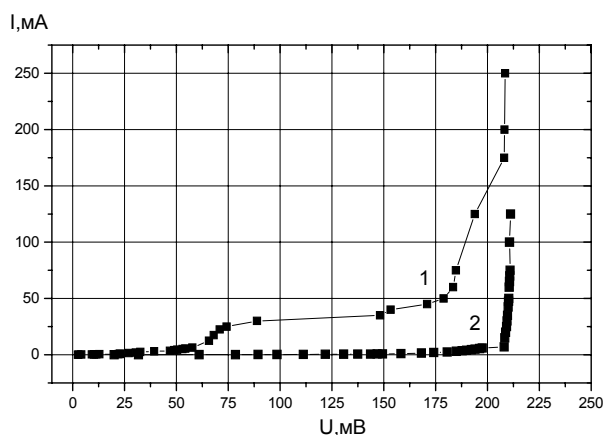


Рис. 1. Вольтамперная зависимость, полученная в простом сернокислом электролите никелирования: 1 – лазерно-стимулированный режим электроосаждения ($\lambda = 10,6$ мкм), 2 – электроосаждение на постоянном токе

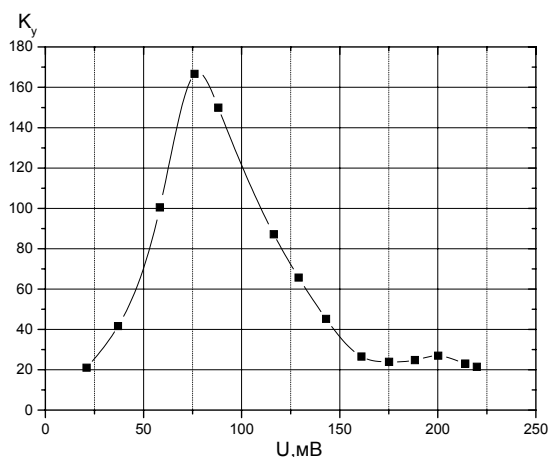


Рис. 2. Зависимость коэффициента лазерного ускорения электроосаждения от напряжения, подаваемого на катод

Согласно рис. 1 и 2, процесс локального лазерно-стимулированного электроосаждения никеля на медную основу наиболее целесообразно проводить при $U = 58$ мВ и $j = 21$ А/м² ($K_y = 100$).

Одним из факторов, обуславливающим ускорение процесса электроосаждения пленок никеля при облучении источником лазерного излучения, является температурный фактор.

Установлено, что при увеличении температуры в прикатодной области вязкость водного раствора электролита никелирования уменьшается от $1,881 \cdot 10^{-6}$ до $0,838 \cdot 10^{-6}$ м²/с, что приводит к увеличению плотности тока электроосаждения и способствует интенсификации процесса электроосаждения металлических покрытий.

Зондирование зоны термического влияния (ЗТВ) с помощью медь-константановой термопары показало нагрев центральной области лазерного луча от 293 до 371 К.

На основании данных о стационарном радиальном распределении температуры в ЗТВ (рис. 3) можно вычислить радиальное распределение плотности тока электроосаждения никеля [3]:

$$j = j_0 \cdot \exp\left\{\frac{E_a \cdot \Delta t(r)}{R T_0 [T_0 + \Delta t(r)]}\right\}, \quad (1)$$

где $j_0 = 0,308$ А/м² – плотность тока электроосаждения никеля при $T_0 = 293$ К, $\Delta t(r)$ – температура, отсчитанная от T_0 , $E_a = 42$ кДж/моль – энергия активации электроосаждения никеля, R – универсальная газовая постоянная.

Однако при $r > r_0$ (где r – радиальная переменная, r_0 – радиус лазерного луча) температура падает, поэтому для описания радиальной зависимости плотности тока лазерно-стимулированного электроосаждения предлагаем следующую модификацию уравнения:

$$j(r) \cong j_0 \left[1 - X(r - r_0) \frac{r - r_0}{r^* - r_0}\right] \times \exp\left\{\frac{E_a \cdot \Delta t(r)}{R T_0 [T_0 + \Delta t(r)]}\right\}, \quad (2)$$

где $X(r - r_0) = \begin{cases} 0, & r \leq 0 \\ 1, & r > r_0 \end{cases}$ и r^* – стационарный

радиус локального пятна лазерно-осажденного металла.

Применение выражения (2) при температурах, соответствующих ходу кривой (рис. 3), дает радиальный профиль плотности тока (рис. 4), из которого видно уменьшение плотности тока от центра ЗТВ к краю локального покрытия. При расчетах значений плотности тока рис. 4 учитывался тот факт, что значения полученные по формуле (2), составляют 15...25 % от экспериментальных значений плотности тока лазерно-стимулированного процесса электроосаждения (рис. 1) и соответствуют

значениям, полученным при электроосаждении на постоянном токе и температуре водного раствора электролита, равной температуре в ЗТВ.

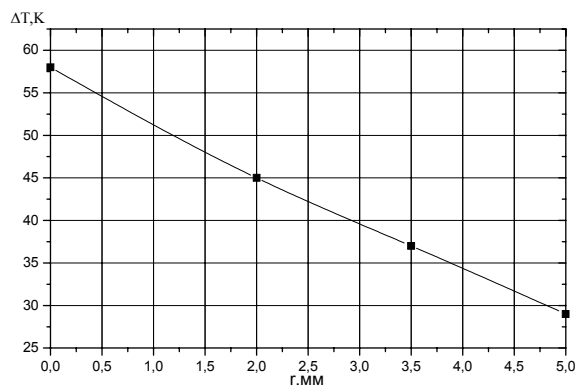


Рис. 3. Радиальное распределение температуры в ЗТВ

В связи с практическим применением лазерного электроосаждения в технологии защитных покрытий [4 – 8] весьма важно выяснить радиальный профиль толщины локального покрытия, образующегося при лазерном электроосаждении пленок никеля на медную основу в оптимальных условиях.

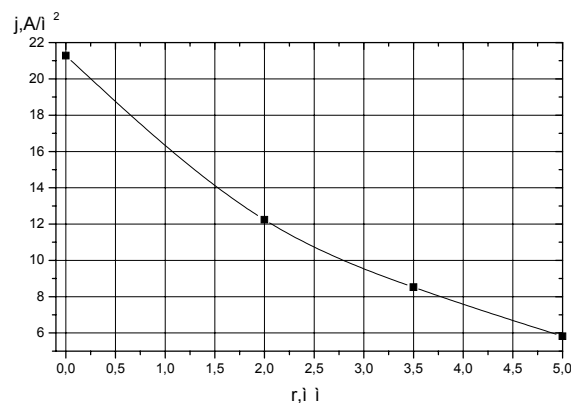


Рис. 4. Радиальное распределение плотности тока в ЗТВ

Толщина локального покрытия (d) пропорциональна плотности тока и времени электроосаждения:

$$d(r) = \frac{k}{\rho} j(r) \tau = \frac{A_{\text{Ni}}}{\rho F} j(r) \tau, \quad (3)$$

где $\rho = 8800 \text{ кг/м}^3$ – плотность никеля, $A_{\text{Ni}} = 58,71 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ – атомная масса никеля, τ – время процесса электроосаждения, F – постоянная Фарадея. Результаты расчета толщины локального покрытия (d) в зависимости от радиальной переменной показаны на рис. 5.

Толщина покрытия убывает с увеличением расстояния r от центра пятна до радиуса сфо-

кусированного лазерного луча $r = r_0$ и резко уменьшается при $r > r_0$. Из экспериментальных данных следует, что средняя скорость осаждения никеля в области лазерного нагрева составляет $2,45 \text{ мкм/ч}$ при $j = 20 \text{ А/м}^2$ и $U = 58 \text{ мВ}$, а величина $d_{\text{обл}}/d_{\text{необл}} = 1$ достигается за время $\tau \approx 1,5 \text{ мин}$, где $d_{\text{обл}}$ – толщина покрытия, полученного при лазерно-стимулированном режиме электроосаждения, $d_{\text{необл}}$ – толщина покрытия, полученного без лазерного облучения.

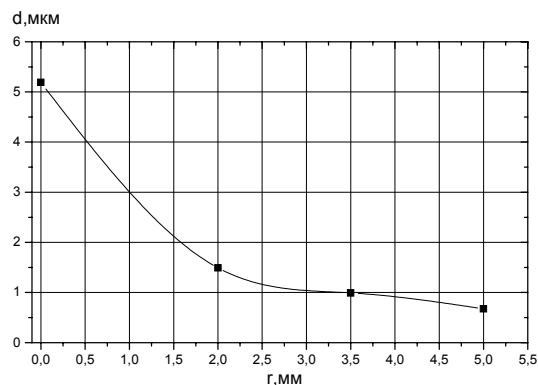


Рис. 5. Распределение толщины покрытия в зависимости от радиальной переменной

Большинство исследователей придерживаются мнения, что фототермический эффект является доминирующим [9 – 11].

Экспериментально установлено, что повышение температуры раствора не приводит к значительному увеличению катодного тока по сравнению с лазерно-стимулированным режимом. Таким образом, лазерное ускорение процесса электроосаждения обусловлено не только термическим эффектом. Увеличение катодного тока электроосаждения никелевых покрытий при лазерном облучении можно связать с передачей импульса электромагнитного поля веществу (атомам раствора электролита), т.е. с пондеромоторным действием излучения.

При поглощении ионом фотона, иону с гидратной оболочкой сообщается как энергия, так и импульс фотона. При этом ион получает приращение скорости в направлении падающего света. Давление света, связанное с передачей импульса электромагнитного поля веществу называется пондеромоторным действием излучения [12, 13]. Вследствие производимого излучением давления увеличивается концентрация ионов в прикатодной области, что приводит к значительному уменьшению перенапряжения кристаллизации по сравнению с режимом электроосаждения на постоянном токе без лазерного стимулирования (см. рис. 1). Та-

ким образом, уменьшение перенапряжения кристаллизации при лазерном стимулировании является причиной уменьшения скорости образования поверхностных зародышей и формирования более равновесной структуры: увеличения размеров блоков мозаики, уменьшения плотности дислокаций [14].

ВЫВОД

В данной работе найдены оптимальные условия локального лазерного электроосаждения никеля на медь из сернокислого электролита, рассчитаны параметры локальных покрытий никеля, а также оценена скорость процесса электроосаждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Груев, И. Д. Электрохимические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / И. Д. Груев, И. И. Матвеев, Н. Г. Сергеева. – М.: Радио и связь, 1988. – 303 с.
2. Штапенко, Э. Ф. Лазерно-стимулированное электроосаждение никелевых пленок [Текст] / Э. Ф. Штапенко, В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2007. – т. 29, № 3. – С. 317-323.
3. Нестеренко, М. В. [Текст] / М. В. Нестеренко, Ю. В. Серянов // Защита металлов. – 1990. – т. 26, № 4. – С. 676.
4. Спосіб лазерно-стимульованого електролітичного осадження багаточастотних сплавів нікель-фосфор [Текст] : декл. пат. України на корисну модель № 8471, 7 С25D 5/18 / Заблудовський В. О., Штапенко Е. П., Дудкіна В. В., Краєва В. С., Гулівець О. М., Ганіч Р. П., Герасименко Д. В., Баскевич О. С. – Бюл. № 8 від 15.08.2005.
5. Штапенко, Э. Ф. Структура никелевых пленок, полученных при лазерно-стимулированном электроосаждении [Текст] / Э. Ф. Штапенко, В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2007. – т. 29, № 8. – С. 1113-1118.
6. Заблудовский, В. А. Моделирование структуры цинковых покрытий, полученных лазерно-

- стимулированным электроосаждением, с помощью программируемого импульсного тока [Текст] / В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2008. – т. 30, № 4. – С. 545-553.
7. Дудкина, В. В. Лазерно-стимулированная электрокристаллизация цинковых покрытий [Текст] / В. В. Дудкина, В. А. Заблудовский // Материалы 68 Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (22-23 мая 2008 г., Днепропетровск). – Д.: ДИИТ, 2008. – С. 101.
 8. Дудкина, В. В. Скорости образования и роста поверхностных зародышей при лазерно-стимулированной электрокристаллизации цинковых покрытий [Текст] / В. В. Дудкина, В. А. Заблудовский, Э. Ф. Штапенко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Сер. «Фізика. Радіоелектроніка». – 2007. – Вип. 14, № 12/1. – С. 107-111.
 9. Bindra, P. On the mechanism of laser enhanced plating of copper [Text] / P. Bindra, G. V. Arbach, U. Stimming // J. Electrochem. Soc. – 1987. – Vol. 134, No. 11. – P. 2893-2900.
 10. Puippe, J. Cl. Investigation of Laser-Enhanced Electroplating Mechanisms [Text] / J. Cl. Puippe, R. E. Acosta, R. J. Gutfeld // J. Electrochem. Soc. – 1981. – Vol. 128, No. 12. – P. 2539-2545.
 11. Hsiao, M. C. The Investigation of Laser-Enhanced Copper Plating on a Good Heat Conducting Copper Foil [Text] / M. C. Hsiao, C. C. Wan // J. Electrochem. Soc. – 1991. – Vol. 138, No. 8. – P. 2273-2278.
 12. Эшкин, А. Давление лазерного излучения [Текст] / А. Эшкин // Успехи физических наук. – 1973. – т. 110, вып. 1. – С. 101-116.
 13. Казанцев, А. П. Резонансное световое давление [Текст] / А. П. Казанцев // Успехи физических наук. – 1978. – т. 124, вып. 1. – С. 113-145.
 14. Штапенко, Э. Ф. Структура никелевых пленок, полученных при лазерно-стимулированном электроосаждении [Текст] / Э. Ф. Штапенко, В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2007. – т. 29, № 8. – С. 1113-1118.

Поступила в редколлегию 18.12.2009.

Принята к печати 23.12.2009.

Н. Н. МОРОЗ (Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ И СИЛЫ ТРЕНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Побудовано алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану для визначення оптимальної сили тертя та діаметра круглої листової заготовки. Проведено порівняння результатів теоретичних розрахунків із результатами експериментальних досліджень. Визначено оптимальні величини кількості шарів та довжини елементарних сегментів, на які діляться відповідно товщина та радіус заготовки. Запропоновано рівняння для визначення сили тертя, яке додатково враховує в'язкість мастила і потовщення фланця.

Построен алгоритм расчета напряжено-деформированного состояния для определения оптимальных сил трения и диаметра круглой листовой заготовки. Проведено сравнение результатов теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований. Определены оптимальные величины количества слоев и длины элементарных участков, на которые делятся соответственно толщина и радиус заготовки. Предложено уравнение для определения силы трения, дополнительно учитывающее вязкость смазки и утолщение фланца.

The algorithm of calculation of stressed-and-strained state for determination of the optimum friction forces and the diameter of round sheet blank is developed. The theoretical results are compared with the experimental research data. The optimum values of quantity of layers and length of elementary segments, into which accordingly thickness and radius of blank are divided, are determined. The equation for determination of friction force, in addition taking into account the viscosity of lubricant and thickening the flange, is offered.

Расчет напряженно-деформированного состояния круглых листовых заготовок является основой для всех расчетов, направленных на достижение оптимального использования пластических свойств материала.

В связи с этим была составлена программа «CIRCLE», которая позволяет проводить расчет напряженно-деформированного состояния и определять конечные прогибы круглых заготовок. Данная программа записана на языке ФОРТРАН-4. Для оценки точности выбранной модели составленного алгоритма были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния листовой заготовки, подвергнутой воздействию импульсной нагрузки типа взрывной.

С этой целью в алгоритм расчета вводилась внешняя нагрузка, определенная экспериментальным путем. Затем проводилось сравнение результатов теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований.

При моделировании процесса импульсного деформирования вводились следующие данные для заготовки: материал АМЦ-АМ, $\rho = 2,62 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $E = 7,1 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, $\nu = 0,33$, $D_3 = 0,18 \text{ м}$, $\delta = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Параметры упрочнения берутся из работы [1]. Радиус перетяж-

ного ребра кольца, внутрь которого осуществлялась штамповка, задавался уравнением:

$$(R - 0,0725)^2 + (Z - 0,005)^2 = 2,5 \cdot 10^{-5}. \quad (1)$$

Учет силы трения на плоскости фланца осуществлялся по зависимости [2]:

$$F_{\text{тр}i} = 2\eta R_i l_i v_i d \varphi_i h_i^{-1}, \quad (2)$$

где η – коэффициент динамической вязкости (для масла МС-20 $\eta = 18 \text{ Па} \cdot \text{с}$);

v_i – скорость перемещения i -го узла на фланце;

h_c – толщина смазочного слоя, равная $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$.

На рис. 1 представлены графические зависимости перемещения центральной точки заготовки, полученные экспериментальным путем и построенные по результатам счета. Данные сравнения кинематики профиля заготовки изображены на рис. 2.

Результаты численных расчетов и экспериментальных исследований по распределению деформаций по радиусу отштампованной детали приведены на рис. 3–5.

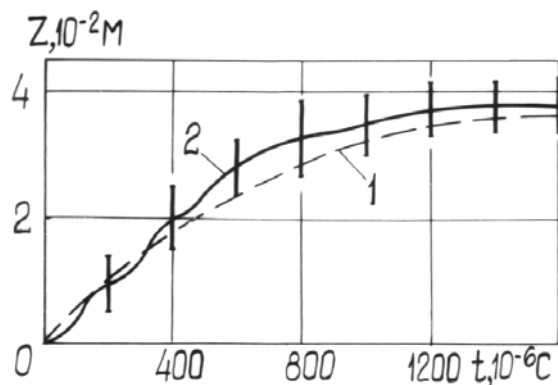


Рис. 1. Перемещения центральной точки заготовки:
1 — расчет; 2 — эксперимент

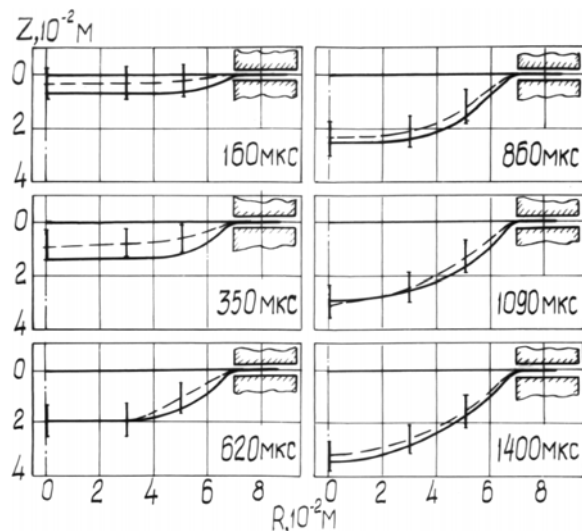


Рис. 2. Положение профиля заготовки
в фиксированные моменты времени:
----- эксперимент; ——— расчет

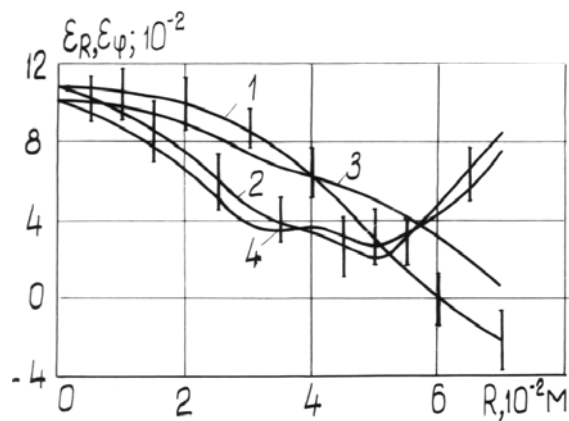


Рис. 3. Распределение окружных
и радиальных деформаций:
1, 2 — ε_φ , ε_r (эксперимент);
3, 4 — ε_φ , ε_r (расчет)

Некоторая неравномерность перемещения точек заготовки в эксперименте (см. рис. 2) объясняется погрешностями расшифровки киограмм (нечеткое изображение, а также неко-

торой добавкой нагрузки от отраженных ударных волн и гидротока) в процессе деформирования заготовки.

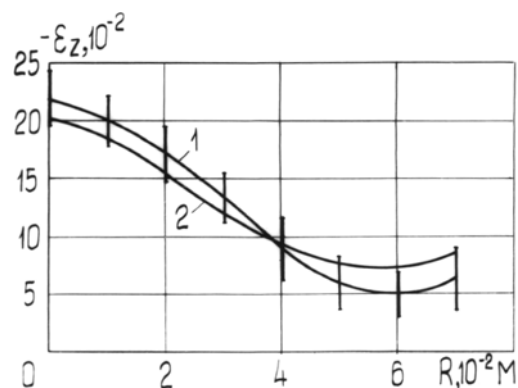


Рис. 4. Изменение деформации по толщине:
1 — эксперимент; 2 — расчет

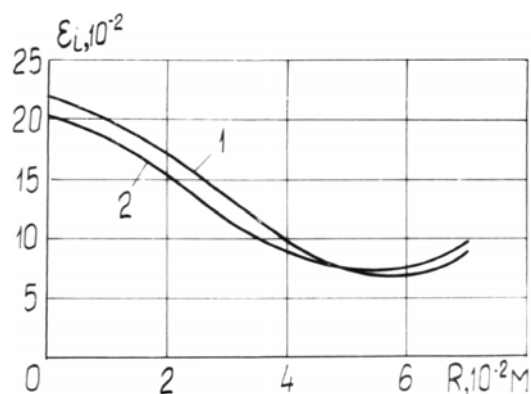


Рис. 5. Распределение интенсивности деформаций:
1 — эксперимент; 2 — расчет

На рис. 6 показано развитие радиальных деформаций вблизи центральной точки. Результаты сравнения показывают, что погрешность математической модели, описывающей количественные характеристики деформируемой заготовки как в процессе ее деформирования, так и в ее конечном состоянии, лежит в пределах 10...15 %.

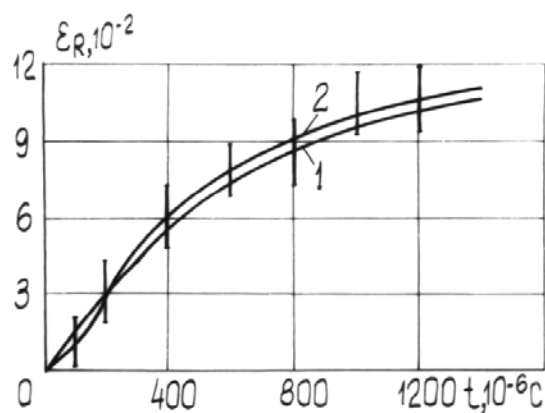


Рис. 6. Изменение во времени
деформаций в центре заготовки:
1 — эксперимент; 2 — расчет

С помощью программы «CIRCLE» были проведены исследования по изучению влияния на точность расчетов количества слоев K и длины элементарного участка Δl_i , на которые делятся соответственно толщина и радиус заготовки. Оптимальными оказались следующие величины: $K = 4$ и $\Delta l_i = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Увеличение количества слоев и уменьшение длины участка существенно не повышают точность расчетов, однако время счета резко возрастает.

Силу трения можно задавать уравнением (2), но более верной будет зависимость:

$$F_{\text{mpi}} = 2\tau_i^* R_i \Delta l_i, \quad (3)$$

где τ_i^* – касательные напряжения на фланцевой части, определяемые выражением [3]:

$$\tau_{j,i} = \left[\frac{4}{h_c(1+k^*)} - \frac{3b_2}{b_1 h_c(1+k^*)} \right] \mu v_{j,i} + \frac{3b_2}{b_1 h_c(1+k^*)} \exp(-b_1 t) \int_0^t \frac{\partial v_{ji}}{\partial t} \exp(b_1 t) dt; \quad (4)$$

$$b_1 = 6 \frac{k^*(2+k^*)}{(1+k^*)^2 \ln(1+k^*)}; \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{12}{(1+k^*) \ln(1+k^*)}, \quad (6)$$

где v_i – скорость перемещения i -й массовой точки на фланце;

μ – вязкость смазки;

h_c – толщина смазочного слоя;

k^* – коэффициент, учитывающий утолщение фланца.

На рис. 7 изображены положения заготовки, построенные по результатам численных расчетов при различных граничных условиях.

При расчетах использовались следующие исходные данные: заготовка-материал АМЦ-АМ, диаметр заготовки 0,2 м, толщина 0,001 м, нагрузка прикладывалась в виде импульса давления $I = 400 \text{ Па} \times \text{с}$. Из рис. 7 видно, что при жестком закреплении кромки заготовки после формообразования принимаем форму, близкую к конической, что подтверждают эксперименты [4].

Если фланцевая часть заготовки имеет возможность перемещаться, то ее окончательная форма при свободной штамповке во многом

определяется величиной силы трения на плоскости фланца. С помощью составленного алгоритма можно моделировать технологические процессы с приложением нагрузки в различных частях заготовки. Можно также осуществлять расчет процессов, в которых прикладывают нагрузку с меняющейся по радиусу заготовки интенсивностью. Такие случаи, в частности, имеют место, когда энергия передается заготовке через экраны, линзы, различного рода наладки.

Положения профиля заготовки в различные моменты времени для случаев приложения импульса в различных местах по радиусу заготовки показаны на рис. 8. Исходные величины для расчетов взяты аналогичными данными для вариантов, изображенных на рис. 7.

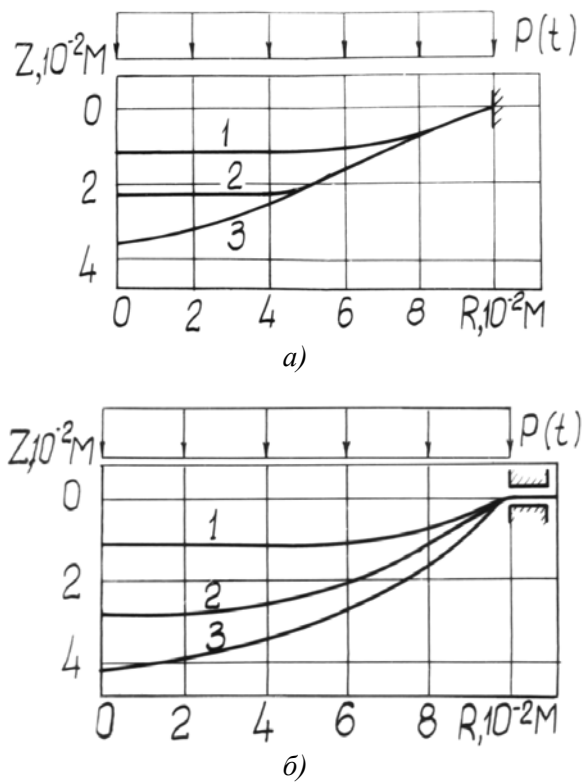


Рис. 7. Изменение профиля заготовки при различных граничных условиях:

а) штамповка без перемещения фланца;

б) штамповка-вытяжка;

1 – $350 \cdot 10^{-6}$ с; 2 – $650 \cdot 10^{-6}$ с; 3 – $950 \cdot 10^{-6}$ с

Результаты расчетов показывают, что глубина вытяжки увеличилась в среднем на 10 % при более равномерном распределении деформаций по профилю заготовки. Это можно объяснить перераспределением деформаций в процессе волнообразного перемещения заготовки. Данную картину подтвердили экспериментальные исследования [5].

Созданная математическая модель позволяет рассчитать оптимальный исходный диаметр заготовки и оптимальную силу трения, применение которой обеспечит достижение максимальной степени вытяжки. Блок-схема такого расчета приведена на рис. 9.

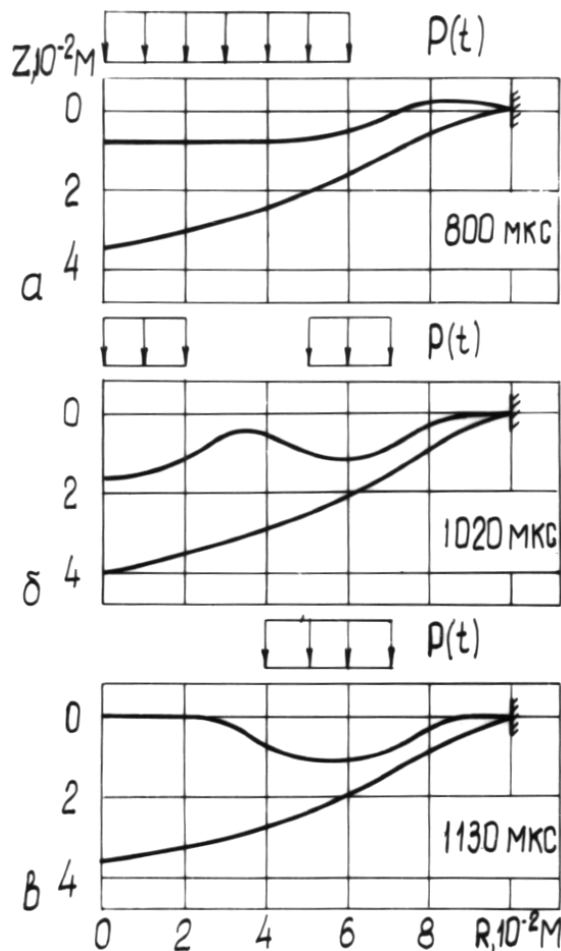


Рис. 8. Влияние места приложения внешней нагрузки на процесс деформирования

На первом этапе задается заведомо больший диаметр заготовки и большая сила трения. После расчета напряженно-деформированного состояния проводится сравнение величин прогибов заготовки на текущем и предыдущем шагах итерации. Если разность больше нуля, то осуществляется уменьшение силы трения (блок I). Проводится новый расчет до тех пор, пока уменьшение $F_{\text{тр}}$ не приведет к увеличению коэффициента вытяжки. В противном случае счет передается на блок II, и осуществляется поиск оптимального диаметра заготовки при постоянной силе трения (вычисленной в блоке I).

Таким последовательным подбором определяются оптимальные сила трения и диаметр заготовки. Можно, задавшись постоянным зна-

чением одной из этих двух величин, оптимизировать значение другой.

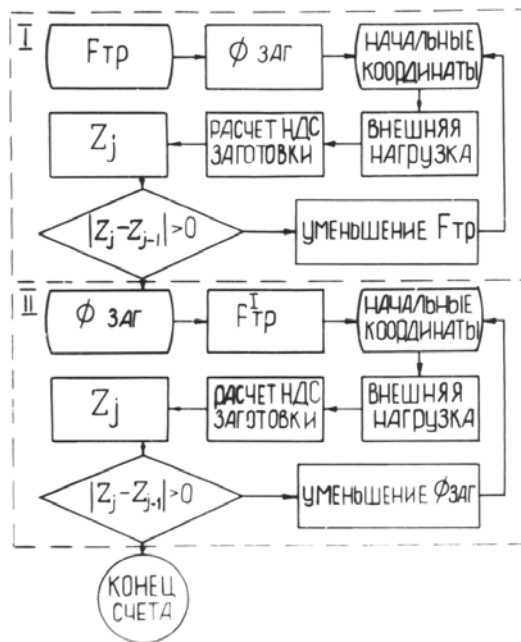


Рис. 9. Блок-схема расчета оптимального диаметра заготовки и оптимальной силы трения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андриенко, А. М. Динамические характеристики некоторых металлов и сплавов [Текст] / А. М. Андриенко // Импульсная обработка металлов давлением : Темат. сб. науч. тр. – Вып. 9. – Х.: ХАИ, 1981. – С. 75-83.
2. Исаченков, Е. И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением [Текст] / Е. И. Исаченков. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Драгобецкий, В. В. Управление силами контактного трения в технологических процессах импульсной штамповки [Текст] / В. В. Драгобецкий, А. М. Андриенко, А. А. Имшенецкий // Импульсная обработка металлов давлением : Темат. сб. науч. тр. – Х.: ХАИ, 1986. – С. 47-53.
4. Развигончик, В. Ф. Штамповка-вытяжка конических деталей [Текст] / В. Ф. Развигончик // Импульсная обработка металлов давлением : Темат. сб. науч. тр. – Вып. 3. – Х.: ХАИ, 1971. – С. 58-64.
5. Резонансные явления в процессах формоизменения листовых заготовок [Текст] / В. В. Драгобецкий [и др.] // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – Вип. 6/2006 (41), ч. 2. – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 25-26.

Поступила в редколлегию 07.12.2009.

Принята к печати 22.12.2009.

В. Б. ЮДОВИНСКИЙ, С. В. КЮРЧЕВ, О. В. ПЕНЕВ, Ю. П. МИРНЕНКО,
Р. А. БАКАРДЖИЕВ (Таврический государственный агротехнологический
университет, Мелитополь)

УСТАНОВЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ИЗНОСА МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ ТИПА «ВАЛ – ВТУЛКА»

Робота присвячена встановленню аналітичної залежності коефіцієнту зносу матеріалів деталей сполучення типу «вал – втулка».

Работа посвящена установлению аналитической зависимости коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка».

The paper is devoted to determination of analytical dependence of the wear coefficient for materials of parts of the conjugation of type “shaft-to-bushing”.

Постановка проблемы

Прогнозирование ресурса работы сопряжений возможно при наличии обобщенного показателя поведения материалов деталей сопряжения – коэффициента износа. Коэффициент износа K_U – это характеристика свойств материалов деталей сопряжений и условий изнашивания, которые зависят от распределения давлений по поверхности контакта элементов сопряжения, пути трения и конструктивной формы сопряжения, определяющей его принадлежность к тому или иному типу согласно классификации по условиям трения и износа [1].

Анализ последних исследований

Вопросам износа материалов различных сопряжений посвящено много работ [2, 3]. Однако они носят, в основном, экспериментальный характер, что затрудняет их использование при прогнозировании ресурса.

Формирование цели статьи

Целью статьи является установление аналитической зависимости определения коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка».

Основная часть

Сопряжения типа «вал – втулка» относятся ко второй группе классификации, в которой условия изнашивания сохраняются постоянными для всех точек втулки. В этом случае имеет

место неравномерный износ поверхности втулки.

В сопряжениях «вал – втулка» металлорежущих станков нагрузка колеблется в пределах 300...600 Н. Проведенные исследования показали, что в диапазоне этих нагрузок для диаметра вала 30 мм суммарный износ U_{1-2} деталей сопряжения «вал – втулка» от нагрузки P представляет линейную зависимость. Следовательно, в данном диапазоне нагрузки коэффициент износа будет иметь одинаковую размерность, т.к. показатель « n » при q равен единице и не зависит от скорости относительного перемещения.

Эксперименты проводились на машине трения МИ-1М.

В данном случае втулка имеет шариковую опору, не допускающую ее проворачивание под действием сил трения. Поэтому направление возможного сближения вала и втулки при износе задано х-х (рис. 1). Форма изношенной поверхности втулки $U_2(\alpha)$ является результатом неравномерного распределения работы трения по длине дуги контакта втулки.

Если приравнять количество затраченной работы трения A_1 и работы A_2 , необходимой для образования износа, ограниченного кривой $U_2(\alpha)$, где A_1 – работа трения, возникающая в сопряжении «вал – втулка» при их относительном перемещении (вращении) и действия давления, а A_2 – работа, затрачиваемая на износ втулки под действием сил трения, то получим равенство, из которого можно определить коэффициент износа.

Элементарная затраченная работа трения dA_1 при относительном перемещении деталей сопряжения является произведением коэффициента трения, пути трения и функции распределения давления:

$$dA_1 = \mu \cdot R_1 \cdot \varphi \left[f(\alpha) R_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{d} \cdot d\alpha \right],$$

где μ – коэффициент трения;

R_1 – радиус шипа вала;

φ – угол поворота шипа (вала);

$f(\alpha)$ – функция распределения нормальных давлений;

α – половина угла контакта.

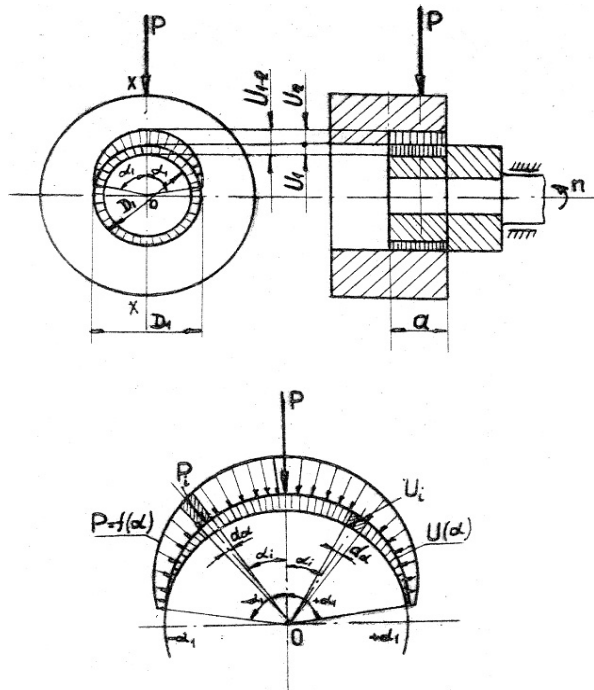


Рис. 1. Расчетная схема сопряжения типа «вал – втулка»

Вся работа трения при относительном перемещении деталей сопряжения будет

$$A_1 = \frac{\mu}{a} \cdot R_1^2 \cdot \varphi \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} f(\alpha) \cdot \cos d_\alpha = \frac{\mu \cdot R_1^2 \cdot \varphi \cdot P}{a},$$

где P – реакция в подшипнике

$$P = \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} f(\alpha) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha;$$

a – ширина подшипника (втулки).

Элементарная работа трения dA_2 , затраченная на износ по дуге контакта α_i , будет

$$dA_2 = \frac{\mu \cdot a \cdot U_i(\alpha) d\alpha}{K_U(\alpha)} = \frac{\mu \cdot a \cdot U_i \cdot (U_i + R_2) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha}{K_U(\alpha)}.$$

Здесь $\left[\frac{K_U(\alpha)}{\mu} \right]$ показывает, на сколько

микронеров износится данный элемент поверхности при затрате единицы работы трения.

Интегрируя последнее выражение и принимая, что коэффициент износостойкости не является постоянным по всей дуге контакта из непостоянства условий трения, получим значение работы A_2 :

$$A_2 = \mu \cdot a \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} \frac{U_i(\alpha)}{K_U(\alpha)} \cdot d\alpha = \mu \cdot a \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} \frac{U_i(U_i + R_2) \cos \alpha \cdot d\alpha}{K_U(\alpha)},$$

где $F_U = \int U_i(U_i + R_2) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha =$

$$= U_2(U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha$$

– площадь, заключенная между первоначальным внутренним контуром втулки и контуром ее после износа.

Для максимального значения износа втулки $U_i = U_2$.

Тогда элементарная площадь, заключенная между первоначальным контуром втулки и контуром ее после износа (площадь поперечного сечения износа), определяется зависимостью

$$dF_U = U_2(U_2 + R_2) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha.$$

Проинтегрируем это выражение и получим полную площадь поперечного сечения износа

$$F_U = U_2(U_2 + R_2) \sin \alpha.$$

Подставив это значение в уравнение работы, получим:

$$A_2 = \frac{\mu \cdot a \cdot U_2(U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha}{K_U(\alpha)}.$$

Приравняв равенство работ, получим коэффициент износа материалов деталей сопряжения «вал – втулка» как функцию угла контакта:

$$\frac{\mu \cdot R_1^2 \cdot \varphi \cdot P}{a} = \frac{\mu \cdot a \cdot U_2 (U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha}{K_U(\alpha)};$$

$$K_U(\alpha) = \frac{4a^2 \cdot U_2 (U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha}{D_1 \cdot S \cdot P}, \frac{\text{мкм}}{\text{Па} \cdot \text{км}}.$$

Коэффициент износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка» показывает, на сколько микрометров изнашивается втулка радиу-

сом R_2 при контакте с валом диаметром D_1 на пути трения S км и давлении P Па.

Экспериментальная проверка полученной зависимости проводилась на машине трения МИ-1М при различных нагрузках в сопряжении с наработкой до 80 км пути трения.

Изменение коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка» при различных нагрузках и наработке до 80 км пути трения представлено на рис. 2.

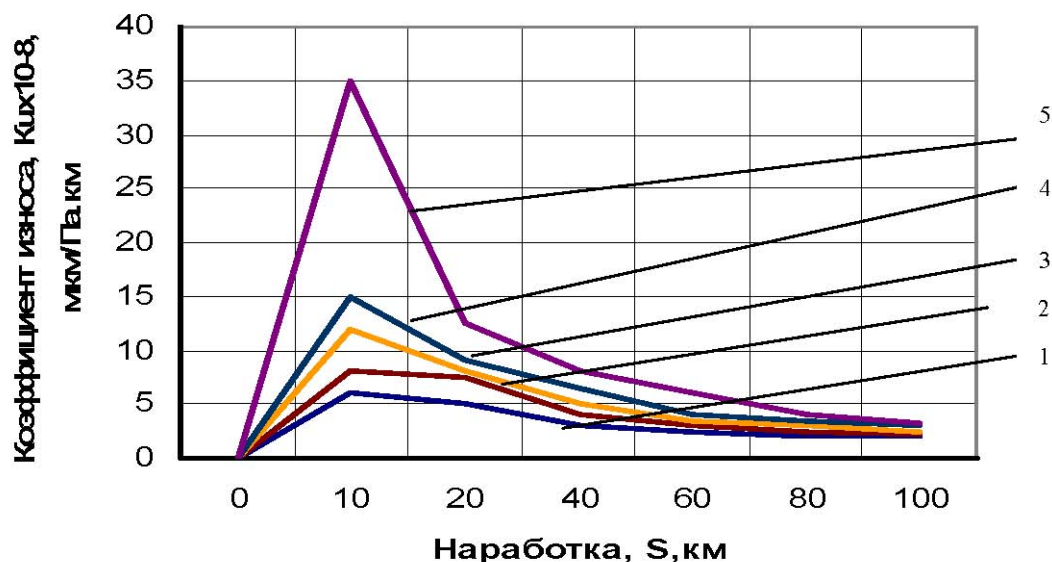


Рис. 2. Изменение коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка» во времени наработки сопряжения при $V = 0,67$ м/с и различных нагрузках: 1 – 300 Н; 2 – 350 Н; 3 – 400 Н; 4 – 500 Н; 5 – 600 Н

Из этих зависимостей видно, что период приработки сопряжений делится на две части: этап накопления деформаций в поверхностных слоях материалов деталей сопряжений и этапа приработки до стабилизации коэффициента износа, определяющего период нормального изнашивания.

Увеличение нагрузки сопряжения сказывается только на этапе накопления деформаций периода приработки.

Выводы

1. Коэффициент износа является функцией геометрических параметров сопряжения, пути трения и условий работы и позволяет прогнозировать ресурс сопряжения в зависимости от условий его работы.

2. Форсирование режимов работы сопряжения по нагрузке ведет к повышению износа деталей сопряжения в период приработки по

сравнению с нормальными эксплуатационными нагрузками.

3. Независимо от величины нагрузки период приработки для сопряжения «вал – втулка» практически остается неизменным ($S = 40$ км).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдовинский, В. Б. Обоснование комплексного показателя износостойкости материалов [Текст] / В. Б. Юдовинский, Д. П. Журавель, Г. П. Петренко // Научные тр. ТДАТА. – Мелитополь, 2007. – Вып. 42.
2. Проников, А. С. Износ и долговечность станков [Текст] / А. С. Проников. – М.: Машгиз, 1957.
3. Проников, А. С. Технологическая надежность станков [Текст] / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1971.

Поступила в редколлегию 07.12.2009.

Принята к печати 22.12.2009.

ОЦІНКА ФІНАНСОВОГО СТАНУ МІСЦЕВИХ БЮДЖЕТІВ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

В даній статті розглядаються проблеми оцінки фінансового стану місцевих бюджетів в Україні. Виявлено перспективні напрямки реформування фінансової регіональної політики. Досліджено шляхи зміцнення фінансової бази регіонів.

В данной статье рассматриваются проблемы оценки финансового состояния местных бюджетов в Украине. Обнаружены перспективные направления реформирования финансовой региональной политики. Исследованы пути укрепления финансовой базы регионов.

In this article the problems of estimation of financial state of local budgets in Ukraine are examined. The promising directions of reforming the financial regional policy are found out. Ways of strengthening the financial base of regions are investigated.

Вступ

Місцеві бюджети є вагомим складовим бюджетної системи країни, тому зміна умов їх формування і виконання може суттєво позначитися на збалансованості фінансової системи, фінансовій безпеці країни в цілому. Реформування місцевих бюджетів, зокрема зміцнення фінансової основи місцевого самоврядування і розмежування видаткових повноважень органів місцевого самоврядування, повинне відбуватися у взаємозв'язку з проведенням реформ в усіх галузях фінансової сфери. Метою реформування місцевих бюджетів є зміцнення фінансової основи місцевого самоврядування, посилення впливу системи формування місцевих бюджетів на соціально-економічний розвиток регіонів України.

Постановка завдання

Мета даної статті – дослідити особливості оцінки фінансового стану місцевих бюджетів в Україні, визначити шляхи реформування бюджетного законодавства та обґрунтувати вплив системи формування місцевих бюджетів на соціально-економічний розвиток регіонів. Досягнення цієї мети зумовило необхідність розв'язання таких завдань:

- розкрити сутність методологічних підходів щодо оцінки фінансового стану місцевих бюджетів в Україні;
- поглибити теоретико-методологічні засади реформування місцевих бюджетів;
- дослідити механізм формування доходної та видаткової частини бюджетів міст на території України;

– розглянути напрямки регіональної політики формування бюджетів у Дніпропетровській області;

– визначити шляхи зміцнення фінансової бази регіонів, що забезпечить цілісність, послідовність і стабільність державної політики у сфері місцевих бюджетів.

Результати

Одним із найважливіших чинників успішного управління бюджетними ресурсами є здійснення загальної оцінки фінансового стану місцевого бюджету, що за своїм змістом відображає підсумки фінансової діяльності виконавчих органів влади. Оцінка фінансового стану бюджету є неодмінним елементом бюджетного процесу на його завершальній стадії при підведенні підсумків процесу виконання бюджету.

Результати діяльності з управління бюджетними ресурсами цікавлять не тільки представників органів влади, а також місцеве населення, платників податків та інвесторів, тому що така оцінка є індикатором розвитку місцевого бюджету. У ході оцінки фінансового стану бюджету здійснюється аналіз бюджетних зобов'язань та вивчається структура його активів і пасивів на поточну дату. Знання показників поточного та попереднього стану бюджету дозволить здійснити загальну оцінку перспектив розвитку території, виявити його потенціальну фінансову спроможність та можливі фінансові ризики.

Для проведення оцінки фінансового стану місцевих бюджетів зробимо порівняльний аналіз бюджетів найбільших міст України. Консолідований бюджет м. Києва на 2009 р. склав

21,546 млрд грн. Зведений бюджет Харкова по доходах на 2009 р. (без врахування трансфертів з Державного бюджету) склав 2,189 млрд грн, Донецька – 2,233 млрд грн, бюджет Одеси – 2,40 млрд грн, Запоріжжя – 1,75 млрд грн та Дніпропетровська – 2,002 млрд грн (і це з урахуванням субвенцій з Державного бюджету). В перерахуванні на душу населення це має наступний вигляд: у Києві – 7 788 грн на рік, Донецьку – 2 260 грн, Харкові – 2 554 грн, Одесі – 2 381 грн, Запоріжжі – 2 051 грн. На одного дніпропетровця приходить лише 1 670 грн. Особливої уваги набуває порівняння фінансування в цих містах соціальної сфери. В 2009 році на охорону здоров'я в бюджеті м. Дніпропетровська закладено 451 млн грн, 2 060 млн грн – у Києві, 536 млн грн – у Харкові. На освіту в Дніпропетровську заплановано 645 млн грн, у Харкові – 653,7 млн грн. Загалом у Харкові на фінансування соціально-культурної сфери направляється 1,337 млрд грн. Порівняно з показниками 2008 р. ці видатки збільшилися в 1,1 разу, в тому числі на освіту – на 12,1 %, охорону здоров'я – на 9,7 %, культуру – на 16,4 %, фізичну культуру і спорт – на 4,2 %, соціальний захист і соціальне забезпечення – на 3 %. В Дніпропетровську ці цифри залишились на рівні попереднього року – що, з урахуванням інфляції, є суттєвим зниженням фінансування. Одесити на заходи по соціальному захисту населення запланували в два рази більше, ніж попереднього року. В столиці на соціальний захист і соціальне забезпечення киян виділено 2,104 млрд грн. Видатки столиці на житлово-комунальне господарство на поточний рік заплановані у розмірі 2 млрд грн, в тому числі дотація підприємствам ЖКГ – 551 млн грн. Харків фінансує своє ЖКГ в розмірі 246,1 млн грн. Дніпропетровська міська рада виділила на рішення комунальних проблем лише 191 млн грн. З цих коштів лише 6,7 млн грн призначено на експлуатацію та ремонт електротранспорту. На жаль, про розвиток і закупівлю нових тролейбусів і трамваїв мови в умовах кризи йти не може. 60 млн грн, які призначені в бюджеті на розвиток міста, підуть на погашення кредиторської заборгованості (11 млн грн) і будівництво соціальних об'єктів, яке почалось в 2006–2007 рр. В той же кризовий час бюджет розвитку Одеси склав 478 млн грн, Харкова – 210 млн грн [1].

Ще одним проблемним питанням залишається наповнення бюджету розвитку за рахунок коштів від відчуження майна, що перебуває у

комунальній власності територіальної громади міста, коштів від продажу земельних ділянок несільськогосподарського призначення, що перебувають у державній власності, до розмежування земель державної і комунальної власності, а також надходжень від продажу земельних ділянок несільськогосподарського призначення, що перебувають у державній власності, на яких розташовані об'єкти, які підлягають приватизації.

В 2009 р. в Дніпропетровську планується продати 36 земельних ділянок, вартість яких складає майже 1,255 млн грн, але слід відмітити, що в 2008 р. у місті, із-за відсутності технічних паспортів на земельні ділянки не було проведено жодного земельного аукціону, а середня вартість проданих земельних ділянок склала приблизно 1 млн грн. В той же час, Харків за рахунок надходжень коштів за продаж земельних ділянок планує отримати в 2009 р. 110 млн грн і 100 млн грн від приватизації міського комунального майна. Приблизно такі ж показники і в Одесі. Від приватизації комунального майна столиця планує отримати 195 млн грн, від продажу землі – 1 млрд 756 млн грн [1].

Зробивши лише поверхневу оцінку фінансової бази місцевих бюджетів, можна дійти висновку, що стан управління бюджетними ресурсами на території України є незадовільним. Для покращення ситуації, в першу чергу, необхідно посилити ефективність регіонального бюджетного менеджменту. Це дозволить перетворити місцеві бюджети в інструмент соціально-економічного розвитку адміністративно-територіальних одиниць через зміцнення фінансової основи місцевого самоврядування; підвищення ефективності процесу формування видаткової частини місцевих бюджетів та децентралізацію управління бюджетними коштами; удосконалення системи регулювання міжбюджетних відносин; запровадження планування місцевих бюджетів на середньострокову перспективу; посилення інвестиційної складової місцевих бюджетів; підвищення ефективності управління коштами місцевих бюджетів та посилення контролю і відповідальності за дотримання бюджетного законодавства [2].

Зміцнення фінансової основи місцевого самоврядування передбачає:

– посилення зацікавленості органів місцевого самоврядування у підвищенні рівня власних доходів шляхом стимулювання збільшення обсягів виробництва, валової доданої вартості, обсягу інвестицій та рівня доходів населення

відповідно до інноваційного напрямку економічного розвитку;

- щорічне збільшення питомої ваги загального фонду місцевих бюджетів у зведеному бюджеті України на декілька відсоткових пунктів;

- підвищення рівня самодостатності місцевих бюджетів шляхом удосконалення податкового законодавства відповідно до напрямів реформування податкової системи, зокрема системи місцевих податків і зборів та механізму здійснення зарахування податку з доходів фізичних осіб;

- перерозподіл доходів між місцевими бюджетами та перегляд складу доходів, які враховуються та не враховуються при визначенні обсягів міжбюджетних трансфертів (податок з доходів фізичних осіб, плата за землю тощо).

Для підвищення ефективності процесу формування видаткової частини місцевих бюджетів, децентралізації управління бюджетними коштами необхідно:

- чітко розмежувати на законодавчому рівні видатки на виконання делегованих державою і власних повноважень органів місцевого самоврядування;

- конкретизувати видаткові повноваження місцевих бюджетів у галузях бюджетної сфери (окремі видатки на забезпечення функціонування закладів освіти, охорони здоров'я, культури і мистецтва, соціального захисту та здійснення заходів у відповідних сферах);

- переглянути склад видатків місцевих бюджетів, які враховуються та не враховуються при визначенні обсягів міжбюджетних трансфертів.

Для підвищення ефективності управління коштами місцевих бюджетів та посилення контролю і відповідальності за дотриманням бюджетного законодавства необхідно:

- надавати органам місцевого самоврядування методичну та консультативну допомогу з питань реформування місцевих бюджетів;

- удосконалити процедури фінансового контролю за дотриманням бюджетного законодавства на всіх стадіях бюджетного процесу його учасниками відповідно до повноважень, визначених законодавством;

- запровадити механізм моніторингу та оцінки ефективності здійснення органами місцевого самоврядування їх повноважень, підвищити відповідальність за здійснення таких повноважень;

- розробити систему моніторингу результатів роботи органів місцевого самоврядування в умовах реформування місцевих бюджетів;

- запровадити системи щорічної рейтингової оцінки результатів роботи органів місцевого самоврядування з управління бюджетними коштами;

- удосконалити процедуру здійснення внутрішнього фінансового контролю в бюджетних установах;

- активізувати роботу органів місцевого самоврядування, спрямованої на підвищення ефективності використання бюджетних коштів (оптимізація мережі бюджетних установ, застосування дієвих методів економії бюджетних коштів тощо).

Висновки

Ефективність управління бюджетними коштами можна підвищити за рахунок забезпечення прозорості процесу формування та виконання місцевих бюджетів. Це можна досягти за рахунок:

- надання прозорості інформації про порядок складання бюджетів усіх рівнів, фінансовий стан органів місцевого самоврядування, підготовленої на основі єдиної методики збору, обробки та надання інформації;

- визначення порядку збору та узагальнення інформації, яка характеризує стан і якість управління коштами місцевих бюджетів;

- удосконалення інформаційно-статистичної бази соціально-економічних показників розвитку регіонів;

- запровадження публічного обговорення щорічних звітів про виконання місцевих бюджетів органами місцевого самоврядування;

- надання можливості громадянам приймати участь у розподіленні бюджету – організувавши, наприклад, громадські слухання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Український фінансовий сервер [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ufs.kiev.ua/>
2. Концепція реформування місцевих бюджетів [Текст]. – Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.05.2007 № 308.

Надійшла до редколегії 17.11.2009.

Прийнята до друку 30.11.2009.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ НОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

На прикладі порівняння двох типів профілів продемонстровано застосування методів економічної оцінки технічного проекту.

На примере сравнения двух типов профилей продемонстрировано применение метода экономической оценки технического проекта.

On the example of comparison of two types of profiles an application of the method of economical assessment of a technical project is demonstrated.

При рассмотрении возможности использования того или иного технического проекта, как правило, в первую очередь, оценивают технические аспекты, но для принятия правильного решения следует также оценивать новый проект и с учетом экономической эффективности, тем более в такой сложной и многофункциональной отрасли, как железнодорожный транспорт.

Так, в сравнительно недавно вышедшей книге [1], авторами которой являются ученые, представляющие Международную ассоциацию тяжеловесного движения, отмечается, что помимо технических аспектов, характеризующих систему «колесо-рельс», имеются и очень важные экономические аспекты. В процессе обоснования технических решений, отмечают эти авторы, необходимо принять во внимание результаты экономического анализа с учетом предполагаемых затрат и ожидаемого эффекта.

В работах [2, 3] впервые предложен метод, позволяющий на стадии, предшествующей изготовлению опытных образцов, дать экономическую оценку мероприятий, связанных с внедрением в эксплуатацию колес с новым типом профиля поверхности катания.

Ниже, на примере рассмотрения движения полувагона, как наиболее распространенного типа подвижного состава, приведены расчеты по оценке экономических показателей, относящихся к стандартному и предлагаемому профилям поверхности катания колеса. В качестве последнего взят профиль типа МИНЕТЕК лишь потому, что ранее для него был вычислен ряд параметров.

Экономическую оценку следует выполнять лишь при условии, что в предлагаемом варианте показатели, характеризующие безопасность

движения поезда, соответствуют нормативам и превосходят те, что присущи профилю-эталону. В рассматриваемом случае эти условия выполнены [3].

Для предварительной экономической оценки рассматриваемых профилей поверхности катания колес достаточно сравнить затраты, связанные с их ресурсом, ресурсом рельсов и энергозатратами на тягу поездов при использовании конкретного профиля.

Ресурс колес, рельсов и энергозатраты на тягу поездов рекомендуется вычислять, используя понятие работы A сил трения на площадках контакта гребней колес и боковой поверхности наружного рельса, отнесенной к пройденному вагоном пути L [5]:

$$A = \frac{1}{L} \int_0^L \vec{F} \vec{\varepsilon} ds, \quad (1)$$

где $\vec{F}$ – вектор силы взаимодействия гребня колеса и головки рельса;

$\vec{\varepsilon}$ – вектор относительного проскальзывания гребня колеса по рельсу.

Величина A определяется путем математического моделирования пространственных колебаний грузового вагона при его движении по рельсовому пути (см., например, [4, 5]).

Для выполнения сравнительных расчетов примем следующие исходные данные и допущения:

- единственной причиной попадания колес в обточку является износ гребня;
- расходы, связанные с изготовлением колес и их стоимостью как металлических изделий, и расходы, связанные с технологическими процессами при их смене и обточке (выпрессовка колеса, напрессовка на ось нового

колеса, монтаж буксового узла) и прочие – одинаковы;

- все полувагоны на сети железных дорог оснащены колесами, которые в одном случае имеют стандартный профиль поверхности катания, а в другом – предлагаемый;
- одинаковы расходы, связанные с заменой в кривых 1 км рельсов, по которым в одном случае предполагается эксплуатация вагонов, колеса которых имеют стандартный, а в другом случае – предлагаемый профиль;
- показатель износа Π , равный работе сил трения A , определяется лишь при движении гребня колеса по боковой поверхности головок наружных рельсов радиусом от 300 до 1000 м, где износ оказывается наибольшим;
- при проведении тяговых расчетов величина показателя износа Π оценивается дополнительным сопротивлением движению от кривизны пути W_r [6].

1. Экономическая оценка затрат, связанных с изменением ресурса колес

В работе [3] показано, что отношение ресурса колес с предлагаемым профилем $\bar{R}_2$ к ресурсу колес со стандартным профилем $\bar{R}_1$, с учетом соответствующего количества n обточек за жизненный цикл колеса, равно

$$\frac{\bar{R}_2}{\bar{R}_1} = \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{[a]_2}{[a]_1} \cdot \frac{[H]_2/h_2 + 1}{[H]_1/h_1 + 1}, \quad (2)$$

где $[a]_1$ и $[a]_2$ – предельно допустимые в эксплуатации величины износа гребней, устанавливаемые соответственно для колес с профилями 1 и 2; h_1 и h_2 – вызванные обточкой величины технологического износа гребней, соответствующие колесам 1 и 2; $[H]_2 = [H]_1$ – наибольшие допускаемые в эксплуатации значения h , при достижении которых колеса исключаются из эксплуатации.

В рассматриваемом случае $[a]_1 = 8$ мм, $[a]_2 = 5$ мм, $[H]_2 = [H]_1 = 45$ мм, $h_1 = 16$ мм, $h_2 = 7,5$ мм, поэтому

$$\frac{\bar{R}_2}{\bar{R}_1} = 1,15 \cdot \frac{A_1}{A_2} = 1,15 \cdot \frac{\Pi_1}{\Pi_2}. \quad (3)$$

Согласно [6], значения отношения A_1/A_2 , найденные путем математического моделирования движения поезда по криволинейным участкам пути с различными радиусами R , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Численные значения A_1/A_2 при разных величинах радиуса кривой

R , м	A_1/A_2
300	1,71
350	1,69
400	1,67
500	1,64
600	1,62
650	1,61
700	1,60
800	1,59
900	1,56
1000	1,54

Средневзвешенное значение этого отношения равно 1,8, поэтому, с учетом (3) и (4)

$$\bar{R}_2 = 1,8 \bar{R}_1. \quad (4)$$

Согласно данным вагонного депо Нижнеднепровск-Узел (ВЧД-3) Приднепровской железной дороги, в котором ремонтируются грузовые вагоны, новое колесо со стандартным профилем поверхности катания направляется на первую обточку в среднем через 2 года после начала его эксплуатации. Последующие обточки производятся через каждые 2 года. После 4-х обточек эти колеса приходится исключать из эксплуатации, а на оси напрессовывать новые.

Поэтому ресурс $\bar{R}_1$ можно принять равным 10 годам. Тогда $\bar{R}_2 = 1,8 \cdot 10 = 18$ лет.

В связи с этим, для одного вагона в течение его срока службы (30 лет) понадобится иметь $\frac{30}{10} \cdot 2 \cdot 4 = 24$ колеса со стандартным профилем и $\frac{30}{18} \cdot 2 \cdot 4 \cong 14$ колес с предлагаемым. Согласно данным ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения», стоимость одного колеса по состоянию на январь 2010 г. составляет 3,8 тыс. грн. Поэтому стоимость 24 колес со стандартным профилем будет равна 91,2 тыс. грн, а 14 колес с предлагаемым профилем – 53,2 тыс. грн.

Количество обточек одного колеса за его жизненный цикл, соответственно, с профилями 1 и 2 равно: $n_1 = \frac{[H]_1}{h_1}$, $n_2 = \frac{[H]_2}{h_2}$. Т.к.

$[H]_2 = [H]_1$, то $n_2 = \frac{h_1}{h_2} n_1$. В нашем случае $n_1 = 4$, $h_1 = 16$ мм, $h_2 = 7,5$ мм, поэтому $n_2 \approx 9$ обточек/колесо.

Тогда, за 30 лет количество обточек, приходящихся на одно колесо, составит в случае стандартного профиля $24 \cdot 4 = 96$ обточек и $14 \cdot 9 = 126$ обточек в случае предлагаемого.

По данным упомянутого депо (по состоянию на сентябрь 2009 г.), стоимость обточки двух колес одной колесной пары с учетом перепрессовки, оцениваемой в 587 грн, и монтажа буксового узла (200 грн) можно считать равной 787 грн. В этом случае, в течение 30 лет в расчете на 1 вагон затраты на обточку колес со стандартным профилем составят $\frac{1}{2} \cdot 787 \cdot 96 = 37776$ грн/вагон, а с предлагаемым – будут равны $\frac{1}{2} \cdot 787 \cdot 126 = 49581$ грн/вагон.

Таким образом, приходящиеся на 1 вагон затраты в течение 30 лет составят $91200 + 37776 = 128976$ грн в случае стандартного профиля и $53200 + 49581 = 102781$ грн – в случае предлагаемого профиля без учета инвестиций на его разработку и внедрение.

Согласно Комплексной программе [7], рабочий парк грузовых вагонов в 2008 г. состоял из 115921 вагона, к 2020 г. он должен вырасти до 141761 вагона.

Если принять в расчет данные 2008 г., то суммарные затраты по отрасли в течение 30 лет в случае колес со стандартным профилем составят $14487 \cdot 10^6$ грн и $11914 \cdot 10^6$ грн – с предлагаемым.

Следовательно, экономия за счет внедрения предлагаемого профиля в течение 30 лет составит в целом по отрасли

$$(14487 - 11914) \cdot 10^6 = 2573 \cdot 10^6 \text{ грн}$$

и $128976 - 102781 = 26195$ грн – в расчете на 1 вагон.

В случае предлагаемого профиля, к затратам следует еще отнести инвестиции на научный поиск, разработку проекта, проведение расчетов и испытаний, в том числе натурных в опытных маршрутах, которые ориентировочно можно принять равными $5 \cdot 10^6$ грн.

2. Экономическая оценка энергозатрат на тягу поездов

Эта оценка может быть получена путем сравнения результатов тяговых расчетов, соот-

ветствующих движению поезда, вагоны которого в одних случаях имеют колеса со стандартным профилем, а в других – с предлагаемым. Поезд с одним и тем же локомотивом должен иметь одно и то же количество однотипных, одинаково загруженных вагонов.

Участок пути должен иметь характеристики, близкие к среднесетевым, за исключением случая, когда сравниваются типы профилей поверхности катания колес, предназначенных для горных участков.

Ниже, в качестве примера, приведены результаты тяговых расчетов, выполненных в связи с оценкой того, каковы энергозатраты на тягу поезда в случае, когда колеса имеют стандартный профиль катания или предлагаемый (типа МИНЕТЕК). В работе [6] приведены результаты тяговых расчетов, в которых рассматривалось движение поезда, сформированного из электровоза серии ВЛ8 и 60 полувагонов массой 80 т брутто по участку Днепропетровск – Пятихатки протяженностью 125 км, характеристика которого близка к среднесетевой. Каждому из сравниваемых типов профилей соответствовало 12 поездов. Данные о расходе энергии в каждой из поездов указаны в табл. 2.

Таблица 2

Расход энергии на ведение состава из 60 грузовых вагонов по участку длиной 125 км

Время хода, мин	Расход энергии, кВт·ч		Экономия энергии, кВт·ч
	стандартный профиль	профиль МИНЕТЕК	
90,5	6398	6301	97
100,6	5317	5176	141
107,2	5062	4938	124
114,5	4897	4750	147
119,3	4819	4663	156
130,3	4674	4525	149
149,1	4458	4344	114
169,0	4325	4211	114
180,5	4269	4151	118
199,7	4207	4091	116
219,9	4168	4052	116
238,8	4151	4034	117
Средние значения за одну поездку	4913	4784	129

Из данных табл. 2 следует, что расход электроэнергии на 1 км пути при ведении одного поезда равен 39,30 кВт·ч/км в случае, когда все

вагоны имеют стандартный профиль, и 38,27 кВт·ч/км в случае предлагаемого профиля.

При использовании в течение года 92 тыс. поездов на полигоне длиной 9752 км и цене электрической энергии 358,61 грн/МВт·ч [8], затраты на ведение поездов составят:

$39,30 \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 358,61 \cdot 10^{-3} \cdot 9752 \approx 1264 \cdot 10^6$ грн в год в случае стандартного профиля и $38,27 \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 358,61 \cdot 10^{-3} \cdot 9752 \approx 1231 \cdot 10^6$ грн в год в случае предлагаемого профиля.

В течение 30 лет эти затраты на полигоне составят, соответственно, $37920 \cdot 10^6$ грн. и $36930 \cdot 10^6$ грн. Экономия по отрасли составит 33 млн грн/год и 990 млн грн – за 30 лет.

3. Сравнение затрат, связанных с ресурсом рельсов

В работе [9] показано, что отношение ресурсов рельсов T_1 и T_2 в случае использования колес, соответственно, с профилями 1 и 2 может быть определено как:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{A_1}{A_2}. \quad (5)$$

Для сравниваемых нами профилей значения правой части выражения (5) содержатся в табл. 1. Поэтому, зная величину ресурса T_1 , можно найти величину T_2 .

Ресурс рельсов, уложенных в криволинейных участках пути радиусом R , может быть найден с использованием эмпирической формулы, предложенной профессором Г. М. Шахуняцем [10]. Найденные с использованием этой формулы величины T_1 были предоставлены профессором В. В. Рыбкиным, которому автор приносит глубокую благодарность за помощь и консультации в вопросах путевого хозяйства. В табл. 3 для разных значений радиусов R приведены значения T_1 и, согласно выражению (6), соответствующие значения ресурса рельсов T_2 (величины отношения A_1/A_2 приведены в табл. 1).

Зная для каждого из криволинейных участков величину ресурса T , можно найти длину рельсов, подлежащих смене на данном участке в течение года. Это можно сделать следующим образом.

По величине освоенного за год на сети железных дорог Украины грузооборота Q и величине развернутой длины L их главных путей находим грузонапряженность Γ одного километра пути в течение одного года:

$$\Gamma = \frac{Q}{L} \quad (6)$$

и срок t службы рельсов, подлежащих замене на участке длиной l :

$$t = \frac{T}{\Gamma}. \quad (7)$$

Длина ежегодно заменяемых рельсов на криволинейном участке пути длиной l будет равна:

$$L = \frac{l}{t}. \quad (8)$$

Таблица 3

Зависимость ресурса рельсов от радиуса кривых

R , м	T_1 , млн т	T_2 , млн т
300	67,7	116
350	84,1	142
400	101	169
500	136	223
600	172	279
650	190	310
700	209	334
800	246	391
900	284	446
1000	322	502

Согласно [7], в 2007 г. величина $Q = 262,6$ млрд т·км. С учетом развернутой длины L главных путей, величина Γ будет равна $8,63 \cdot 10^6$ т/год.

Ниже приведены найденные с учетом этого длины заменяемых рельсов по участкам пути в случае использования стандартного (табл. 4) и предлагаемого (табл. 5) профилей поверхности катания.

Заметим, что суммарная длина приведенных в этих таблицах кривых составляет 5121 км.

Из данных, приведенных в табл. 4 и 5, следует, что на участках кривых, радиусы которых могут изменяться от 300 до 1000 м, потребуется ежегодно производить замену рельсов на длине 248,7 км в случае использования на вагонах колес со стандартным профилем поверхности катания и 151,6 км – в случае предлагаемого профиля.

По данным Приднепровской железной дороги, стоимость всего объема работ по сплошной замене рельсов на 1 км пути равна 977 тыс. грн (по состоянию на 01.10.2009 г.).

Поэтому затраты на ежегодную сплошную замену рельсов в кривых радиусом от 300 до 1000 м составляют $248,7 \cdot 977 \cdot 10^3 \approx 243 \cdot 10^6$ грн в случае стандартного профиля и $151,6 \cdot 977 \cdot 10^3 = 148 \cdot 10^6$ грн – в случае предлагаемого. За 30 лет эти затраты будут равны, соответственно, $7290 \cdot 10^6$ и $4440 \cdot 10^6$ млн грн.

Ниже приведены суммарные по отрасли затраты за год и за 30 лет в случае стандартного и предлагаемого профилей поверхности катания колес грузовых вагонов (табл. 6) и соответствующие экономические эффекты (табл. 7).

Приходящиеся на 1 вагон суммарные затраты и экономический эффект приведены, соответственно, в табл. 8 и 9.

Таблица 4

Длина заменяемых рельсов по участкам в случае стандартного профиля поверхности катания колеса

Наименование параметров	Обозначение	Номера i участков, величины радиуса кривой R , м				
		1	2	3	4	5
		300...349	350...499	500...649	650...799	800...1000
Средняя по участку величина ресурса рельсов, млн т	T_{1i}	75,9	118	181	227	284
Срок службы рельсов, год	$t_{1i} = T_{1i} / \Gamma$	8,79	13,7	21,0	26,0	32,9
Длина участка, м	l_i	280	592	2189	879	1181
Длина ежегодно заменяемых рельсов, км	$L_{1i} = l_i / t_{1i}$	31,8	43,2	104	33,8	35,9
Длина рельсов, подлежащих замене за 30 лет	$L_{30i} = 30L_{1i}$	564	782	1926	630	645

Таблица 5

Длина заменяемых рельсов по участкам в случае предлагаемого профиля поверхности катания колеса

Наименование параметров	Обозначение	Номера i участка, величины радиуса кривой R , м				
		1	2	3	4	5
		300...349	350...499	500...649	650...799	800...1000
Средняя по участку величина ресурса рельсов, млн. т	T_{2i}	129	196	294	362	474
Срок службы рельсов, год	$t_{2i} = T_{2i} / \Gamma$	14,9	22,7	34,1	41,9	54,9
Длина участка, м	l_i	280	592	2189	879	1181
Длина ежегодно заменяемых рельсов, км	$L_{2i} = l_i / t_{2i}$	18,8	26,1	64,2	21,0	21,5
Длина рельсов, подлежащих замене за 30 лет	$L_{30i} = 30L_{2i}$	564	782	1926	630	645

Следует заметить, что найденные экономические эффекты получены при указанных выше допущениях, поэтому необходимо обратить внимание не столько на их абсолютные значения, сколько на то различие в показателях, которое вносит предлагаемый профиль. При этом следует также заметить, что не учитываются сопутствующие расходы, связанные с внедрением новых профилей: затраты на контрольно-

измерительный инструмент, шаблоны, фрезы, обучение персонала и т.д.

Выводы

1. Тип профиля поверхности катания колеса подвижного состава существенно влияет на эксплуатационные расходы отдельных хозяйств и отрасли в целом.

Таблица 6

Суммарные затраты по отрасли				
Показатели	Стандартный профиль		Предлагаемый профиль	
	Затраты, млн грн			
	за год	за 30 лет	за год	за 30 лет
Ресурс колес	482,9	14487	397,1	11914
Топливо-энергетический ресурс	1264	37920	1231	36930
Ресурс рельсов	243	7290	148	4440
Инвестиции на создание колёс с новым профилем	-	-	0,16	5
Всего	1989,9	59697	1776,3	53289

Таблица 7

Экономический эффект по отрасли за счет замены колёс со стандартным профилем на колёса с предлагаемым профилем поверхности катания

Показатели	Экономический эффект, млн грн	
	годовой	за 30 лет
Ресурс колёс	85,8	2573
Топливо-энергетический ресурс	33	990
Ресурс рельсов	95	2850
Всего	213,8	6413

2. Предлагаемый метод позволяет еще на стадии, предшествующей изготовлению опытных образцов, определить экономическую целесообразность замены существующего профиля на предлагаемый.

3. Наибольший экономический эффект в рассматриваемом случае связан с заменой рельсов в кривых, а наименьший – за счет экономии электроэнергии на тягу поезда.

4. Наибольшие экономические затраты связаны с расходом топлива-энергетических ресурсов на ведение поезда, и они значительно превышают те, что связаны с затрата-

ми в паре «колесо-рельс». Следует заметить, что эти данные согласуются с теми, что опубликованы Международной ассоциацией тяжеловесного движения. Это обстоятельство свидетельствует о достоверности расчетов, выполненных по предлагаемому методу.

5. Достоверность приведенных расчетов подтверждается еще и тем, что полученные теоретическим путем данные о дополнительном количестве обточек колес с предлагаемым профилем и связанными с этим дополнительными расходами согласуются с результатами наблюдений.

6. Приведенные показатели экономической эффективности проекта могут быть уточнены с учетом расчетного срока службы вагона, возможно дополнительных эксплуатационных расходов.

Таблица 8

Суммарные затраты, приходящиеся на 1 вагон

Показатели	Стандартный профиль		Предлагаемый профиль	
	Затраты, тыс. грн			
	за год	за 30 лет	за год	за 30 лет
Ресурс колес	4,17	125	3,43	103*
Топливо- энергетический ресурс	10,9	327	10,6	318
Ресурс рельсов	2,1	62,9	1,28	38,3
Всего	17,17	514,9	15,31	459,3

Таблица 9

Приходящийся на 1 вагон экономический эффект за счет замены колёс со стандартным профилем на колёса с предлагаемым профилем поверхности катания

Показатели	Экономический эффект, тыс. грн	
	годовой	за 30 лет
Ресурс колёс	0,74	22
Топливо-энергетический ресурс	0,30	9
Ресурс рельсов	0,82	24,6
Всего	1,86	55,6

* Включены 5 млн грн инвестиций, что составляет примерно 43 грн на один вагон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса [Текст] : [пер. с англ.] / У. Дж. Харрис [и др.]; под ред. С. М. Захарова и В. М. Богданова. – М.: Интекст, 2002. – 408 с.
2. Бараш, Ю. С. К вопросу экономического обоснования выбора рационального профиля поверхности железнодорожного колеса [Текст] / Ю. С. Бараш, А. Г. Рейдемейстер, А. С. Блохина // Зб. наук. пр. «Економіка: проблеми теорії та практики». – Вип. 46. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т, 2000. – С. 17-20.
3. Блохина, А. С. Метод оценки профилей колес подвижного состава [Текст] / А. С. Блохина // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (розділ «Економіка транспорту»). – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 176-181.
4. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей [Текст] / С. В. Мямлин. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
5. Данович, В. Д. Математическая модель взаимодействия колеса и рельса [Текст] / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер // Транспорт : зб. наук. пр. ДІІТу. – Вип. 2. – Д.: Наука і освіта, 1999. – С. 17-22.
6. Влияние профиля поверхности катания колес вагонов на затраты, связанные с тягой поездов [Текст] / А. Г. Рейдемейстер [и др.] // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 24-25.
7. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 рр. [Текст] / Міністерство транспорту та зв'язку України, Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2009. – 299 с.
8. Аналіз роботи господарств електрифікації та електропостачання в 2008 році [Текст] // Нормативно-технічне видання Укрзалізниці. – К., 2009. – 244 с.
9. Рейдемейстер, А. Г. К вопросу о влиянии профиля колеса на ресурс рельсов [Текст] / А. Г. Рейдемейстер, А. С. Блохина // Залізн. трансп. України. – 2004. – № 4. – С. 10-11.
10. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] / Г. М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1969. – 535 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2010.

Принята к печати 18.01.2010.

РОЗГЛЯД МЕХАНІЗМУ ДЕТИНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

У статті досліджується рівень корупції й тіньового сектору економіки, розглядаються основні чинники «тінізації», міжнародний досвід по боротьбі з «відмиванням» коштів, отриманих нелегальним шляхом, даються рекомендації з детінізації економічних відносин.

В статье исследуется уровень коррупции и теневого сектора экономики, рассматриваются основные причины «тенизации», международный опыт по борьбе с «отмыванием» денежных средств, полученных нелегальным путем, даются рекомендации по детенизации экономических отношений.

In the paper the level of corruption and shadow sector of economy is investigated, the basic causes of «shadowing» and international experience on struggle with «washing up» of financial means are considered, and the recommendations for destruction of shadow economy are given.

Вступ

У сучасних економічних умовах сфера тіньових відносин в Україні помітно розширилася. Тіньові відношення спостерігаються не тільки в економіці, але й у неекономічних інститутах – у політичній системі, у судовій гілці влади, в армії, у сферах освіти, культури тощо.

Тіньова економіка включає в коло своїх інтересів такі стратегічні напрямки економічної діяльності, як промислова, торговельна й фінансово-кредитна сфери економіки. Паралельно з легальними економічними інститутами створюються економічні тіньові структури, що дублюють функції офіційної економіки.

Початкові спроби серйозного аналізу тіньової економіки були зроблені закордонними економістами ще в другій половині 70-х рр. ХХ ст. Однією з перших таких робіт є наукове дослідження американського економіста П. Гутмана «Підпільна економіка», у якій особлива увага приділялася неприпустимості ігнорування масштабів і ролі тіньової економіки. Аналізу окремих аспектів цієї проблеми присвячені роботи західних економістів: Г. Бекер, Дж. М. Бьюкенен, Б. Далаго, А. Ділнот, І. Хансон, Е. Фейге, Б. Фрей і А. Ерліх.

У середині 80-х років з'явилися роботи О. Абалкіна, Т. Корягіної, Л. Нікіфорова, О. Шулуса, в яких дається визначення категорії «тіньова економіка», здійснюються спроби визначити її джерела, функціональне призначення в адміністративно-командній системі.

На початку 90-х років у зв'язку із трансформацією економічних відносин, формуванням широкомасштабного сектора «тіньової» економіки, залученням у цей процес значної маси підприємств у російській та українській економічній науці починаються інтенсивні дослідження цього явища.

Значний внесок у розробку проблеми внесли такі російські й українські вчені, як В. Справників, С. Корданський, Л. Косалс, В. Радаєв, Р. Ривкіна, В. Мандибур, М. Гульбарні, З. Варналій, Е. Лібанова, В. Мунтян та Я. Дяченко.

У своїх роботах вони намагаються проаналізувати властивості «тіньової економіки» в умовах становлення й розвитку ринкових відносин, здійснити нову класифікацію, зробити характеристику підприємництва, залученого в «тіньову» діяльність. Розглядаються такі важливі проблеми, як зайнятість у «тіньовому» секторі, інтереси різних верств суспільства у подальшому розвитку «тіньової» економіки.

Відомо, що отримані незаконним шляхом кошти практично завжди потрапляють до кредитних установ, які в подальшому здійснюють їх «відмивання». Теоретико-методологічні аспекти цієї проблеми досліджували такі вітчизняні науковці: В. Бородюк, Т. Ковальчук, І. Мазур, В. Мунтян та А. Степаненко; російські вчені А. Бунін та О. Крилов.

Постановка завдання

Метою даної статті є розгляд окремих чинників тінізації економіки України, аналіз міжнародного досвіду та визначення основних заходів щодо процесу детінізації сучасного суспільства.

Результати

За даними міжнародної антикорупційної організації «Transparency International», Україна в 2008 р. зайняла 137 місце серед 180 країн у рейтингу оцінки поширення корупції у світі. Індекс країни склав 2,5 (по шкалі від 0 до 10, де 0 означає найвищий рівень сприйняття корупції, а 10 – найменший; разом з тим індекс нижче границі 3,0 є показником «галопуючої» корупції) (табл. 1).

Рейтинг країн за рівнем корупції

Назва країни	2007 р.		2008 р.	
	Місце	Індекс	Місце	Індекс
Данія	1	9,4	1	9,3
Фінляндія	2	9,4	5	9,0
Нова Зеландія	3	9,4	2	9,3
Сінгапур	4	9,3	4	9,2
Велика Британія	13	8,4	17	7,7
Японія	18	7,5	19	7,3
Франція	19	7,3	24	6,9
США	20	7,2	20	7,3
Естонія	28	6,5	27	6,6
Угорщина	40	5,3	49	5,1
Латвія	51	4,8	52	5,0
Польща	62	4,2	59	4,6
Болгарія	64	4,1	72	3,6
Грузія	79	3,4	68	3,9
Вірменія	100	3,0	110	2,9
Молдова	113	2,8	112	2,9
Україна	122	2,7	137	2,5
Росія	145	2,3	149	2,1
Казахстан	155	2,1	145	2,2
Кенія	156	2,1	148	2,1
Киргизія	157	2,1	167	1,8
Узбекистан	176	1,7	169	1,8
Гаїті	177	1,6	177	1,4
Ірак	178	1,5	178	1,3
Сомалі	180	1,4	180	1,0

Як видно з табл. 1, за рік показник корупції в Україні погіршився на 2 пункти (в 2007 р. він становив 2,7, а в 2006 р. – 2,8).

З колишніх радянських республік нижчий індекс (і, як наслідок, вищий рівень корупції) мають лише Казахстан (2,2), Росія (2,1), Узбекистан і Киргизія (1,8).

У звіті агентства вказується, що такий низький індекс сприйняття корупції в Україні свідчить про негативний імідж інституційної системи й низьку інвестиційну привабливість її за кордоном.

За даними «Transparency International», надзвичайно серйозними є такі проблеми, як «неефективність, непрозорість бюрократичних процедур, корумпованість кадрів державної служби, непрозорість прийняття рішень у дер-

жавних управлінських структурах, високий рівень організованої злочинності, шахрайство й відмивання грошей, політична корупція, корупція у фінансуванні виборчих кампаній, слабкість гарантій права приватної власності, корупція в законодавчій владі й недовіра до антикорупційної політики держави». Крім того, «волаючими є проблеми в судовій сфері: звичайними явищами вважаються несправедливість суду, залежність його від впливу політиків і підприємців, відсутність гарантій виконання судових рішень» [1].

Відомо, що в першу чергу страждають від корупції підприємства, які змушені витратити на хабарі посадовим особам значний відсоток річного прибутку.

Так, за даними Генеральної Прокуратури, тільки в Києві в першому півріччі 2008 р. було порушено 79 кримінальних справ по фактах вимагання, одержання й дачі хабарів, загальна сума яких становить 16 млн грн, що більш ніж у 16 разів перевищує суму хабарів, отриманих за аналогічний період 2007 р. (970 тис. грн).

Слідчі органи прокуратури столиці в першому півріччі 2008 р. вже направили до суду 67 кримінальних справ про хабарництво, з яких 32 – з ознаками корупційних діянь.

Зокрема, до суду направлено 19 кримінальних справ зазначеної категорії по відношенню до держслужбовців і депутатів місцевих рад (загальна сума отриманих ними хабарів перевищує 2,3 млн грн) і 13 справ відносно до працівників правоохоронних органів (сума отриманих ними хабарів перевищує 230 тис. грн).

За даними МВС, середня сума хабарів чиновникам в Україні в 2008 р. склала 25,6 тис. грн. Найбільш ураженою хабарництвом є система надання послуг у навчальних закладах й установах охорони здоров'я, сфера приватизації, відчуження майна й надання його в оренду, сфера фінансових послуг, регуляторна й дозвільна системи, сфера земельних відносин.

«Лідером» по хабарництву залишається земельна сфера. Зокрема, самі великі хабарі зафіксовані у м. Києві (2,3 млн грн), Дніпропетровській (2 млн грн), Донецькій (1,6 млн грн) областях, АР Крим (1,2 млн грн) і Черкаській (1 млн грн) областях [2].

Найбільш характерними схемами злочинів у сфері земельних відносин є:

- службові зловживання й хабарництво;
- виділення у власність земельних ділянок по підроблених заявах громадян на підставних осіб;
- переоформлення земель сільськогосподарського призначення в інші категорії;
- надання с/г земель у приватну власність без оплати суми збитків сільськогосподарського виробництва;
- використання земель за нецільовим призначенням із порушенням санітарних норм;
- заволодіння земельними ділянками шляхом використання підроблених протоколів публічних торгів;
- роздержавлення й передача у власність землі історико-культурного призначення;
- самовільне захоплення земельних ділянок.

У першому півріччі 2008 р. МВС України за наведеними вище схемами виявило більше 300 злочинів. До кримінальної відповідальності притягнуті 135 посадових осіб, у тому числі 57

представників органів влади й 50 керівників підприємств [2].

Предметом протиправних дій у виявлених злочинах є майже 1,7 тис. га землі, у тому числі 1,6 тис. га сільськогосподарського призначення, 18,6 га оздоровчого й рекреаційного призначення, 783 га – пов'язаних із самовільним захопленням.

Крім того, розкрито факти корупції з боку посадових осіб, уповноважених здійснювати розпорядницькі функції при операціях із землею.

Що ж стосується корупційних дій у навчальних закладах, то як показало телефонне опитування Київського інституту проблем управління ім. Горшеніна, що було проведене в 2008 р., більшість респондентів ставляться до цієї ситуації без «негативу» (тільки 10 % опитаних вважають подарунок хабаром).

Як показало дане дослідження, 69 % респондентів не усвідомлюють практичної сторони своїх дій. Зокрема, вони дають хабарі або дарують подарунки, тому що «так заведено». Крім того, ірраціональність дій демонструє й той факт, що 64,2 % респондентів вважають, що подарунки педагогам не впливають на оцінки школярів.

Як відомо, тіньова економіка – це сукупність неконтрольованих і нерегульованих протиправних економічних відносин між суб'єктами економічної діяльності [3].

За даними економістів, за період 2001 – 2007 рр. ВВП тіньової економіки зріс від 130,2 до 297,3 млрд грн, щорічні обсяги недоїмки фінансів становлять понад 50 % доходів бюджету [4].

Масштаби тіньового сектору призводять до деформації принципів громадського суспільства, формують негативний імідж України у світі, а тому негайно потребують активних дій щодо детінізації економіки.

Основні чинники тінізації економіки України:

1. Відсутність повноцінного ринкового середовища. Уповільнення економічних перетворень, недосконалість ринкових механізмів призводять до неузгодженості державної економічної політики з інтересами суб'єктів господарювання, які змушені самостійно розробляти неформальні механізми взаємної співпраці.

2. Неефективність управління державною власністю й захисту прав власників. Поспішно проведена приватизація відсунула на другий план вирішення питання захисту прав власників та ефективного управління державним майном. Тіньовий сектор найчастіше експлуатує

промислові високорентабельні державні підприємства, позбавляючи державу належних доходів.

3. Податкова система. Чинна податкова система максимально зосереджена на залученні надходжень до бюджету, без урахування можливих негативних наслідків надмірного фіскального тиску на суб'єктів господарювання та громадян. Надмірний податковий тиск призводить до того, що прагнення держави легалізувати тіньовий капітал і залучити його в реальну економіку виявляються неефективними.

4. Державна регуляторна політика. Нечітке визначення прав і взаємних обов'язків держави та суб'єктів підприємницької діяльності відштовхують учасників ринкових відносин від контактів із державними органами й посилюють мотивацію до нелегальної діяльності.

5. Бюджетна політика. Сучасне формування бюджетних показників призводить до істотних розбіжностей між прогнозованими й фактичними макроекономічними показниками. Тінізацію бюджетної системи посилює відсутність ефективного контролю за виконанням видаткової частини держбюджету, його недостатня прозорість, численні випадки порушень бюджетної дисципліни, зловживань та нецільового використання державних коштів.

6. Діяльність судової влади. По-перше, недоліки механізму виконання судових рішень; по-друге, посилення тенденцій протиправного використання судових рішень для перерозподілу власності, у тому числі «тіньового рейдерства» [3].

Вищевказані фактори розвитку тіньової економіки призводять до негативних наслідків в офіційному економічному секторі, а саме: втрати податкових надходжень до бюджету; зменшення інтересу потенційних інвесторів до українських підприємств, недовіри управлінських рішень внаслідок відсутності повної та об'єктивної інформації про розвиток економічних процесів в Україні.

Група європейських експертів представила низку рекомендацій вищим державним установам законодавчої й виконавчої влади України щодо шляхів і механізмів запобігання політичній корупції та «відмивання» коштів у банківській сфері.

Щодо фінансування політичних партій і виборчих кампаній Україні пропонується привести правила фінансування партій у відповідність до європейських стандартів. Зокрема, увести державне фінансування статутної діяльності політичних партій, обов'язкове періодичне оприлюднення фінансової звітності партій, ви-

значити суб'єктів і механізми здійснення контролю за фінансуванням діяльності партій і встановити превентивні, адекватні й ефективні санкції за порушення правил фінансування партій і виборчих кампаній. Крім того, рекомендується уніфікувати регулювання звітності партій, визначення порядку здійснення контролю за дотриманням встановлених вимог щодо звітності, періодичності її подання й оприлюднення.

Стосовно питання імунітетів обраних осіб рекомендується скоротити строки розгляду в парламенті питань про зняття імунітетів, обмежити роль Голови Верховної Ради у визначенні обґрунтованості або необґрунтованості подань Генерального прокурора або глави Верховного суду України щодо зняття імунітету. Рекомендується виключити з-під дії імунітетів проведення слідчих і процесуальних дій, не пов'язаних з обмеженням права народного депутата України на волю пересування, а також випадки затримки народного депутата або судді на місці здійснення тяжких злочинів, у тому числі злочинів у сфері корупції.

У контексті проблеми імунітетів також пропонується забезпечити реальну можливість дострокового припинення повноважень Президента в порядку імпічменту у випадку встановлення наявності в його діях ознак злочину. Зокрема, пропонується прийняти Закон про тимчасові спеціальні й слідчі комісії Верховної Ради, початий у зв'язку з ініціюванням питання про імпічмент Президента. Це буде визначати, зокрема, статус тимчасової спеціальної слідчої комісії з імпічменту, статус спеціальних прокурорів і спеціальних слідчих, права учасників розслідування.

У питанні конфлікту інтересів вибраних представників, на думку експертів, Україні необхідно визначити правила етики депутатів в одному законодавчому акті. Пропонується законодавчо закріпити обов'язковість декларування доходів і видатків особами, уповноваженими на виконання функцій держави (і місцевого самоврядування), а також порядок здійснення такого декларування.

Необхідно також закріпити в законодавчому порядку право громадян на одержання інформації, що розкрита в деклараціях осіб, уповноважених на виконання функцій держави, а також механізми його реалізації, зокрема, обов'язковість надання інформації по інформаційних запитах, обов'язковість оприлюднення декларацій народних депутатів, депутатів місцевих рад, а також державних і муніципальних служ-

бовців, посади яких відноситься до 1...3 категорії.

Щодо питання регулювання лобіювання в Україні рекомендовано розглянути питання про доцільність реєстрації груп інтересів в органах публічної влади, визначити орган, що буде здійснювати таку реєстрацію, порядок її проведення, права й обов'язки, сприяти створенню добровільної системи груп інтересів і кодексу поведінки лобістів.

Крім вищенаведених рекомендацій міжнародних експертів, на наш погляд, було б доцільним впровадження таких заходів:

- заборону анонімних пожертв, внесків іноземних компаній та неприбуткових організацій на користь суб'єктів виборчого процесу;

- зняття обмежень на розмір виборчого фонду при одночасному посиленні контрольно-ревізійних заходів щодо джерел надходження коштів;

- посилення контролю за виконанням заборони на здійснення підприємницької діяльності державними службовцями.

Стосовно «відмивання» коштів у банківській сфері також існує можливість звернутися до міжнародного досвіду [5].

Наприклад, у Швейцарії закон про боротьбу з відмиванням капіталів зобов'язує банкірів та інших учасників операцій з готівкою й майном (адвокатів, нотаріусів) інформувати владу про сумнівні фінансові операції, розмір яких законодавчо не обумовлений. Первинна інформація про сумнівні операції надходить до так званого бюро зі зв'язків. Експерти цього бюро з'ясовують, чи підозрювався клієнт раніше, збирають необхідні дані й вирішують, чи потрібно передавати отримані відомості правоохоронним органам. Рахунки можуть бути заблоковані протягом п'яти діб без повідомлення клієнта, а в разі необхідності – й протягом довшого терміну.

У Великій Британії законодавчо закріплено, що «відмивання» грошей є кримінальним злочином. Створено національну кримінально-розвідувальну службу як центр збору й розповсюдження інформації фінансових установ про підозрілі операції з «відмивання» коштів.

В Італії законодавство регламентує боротьбу з «відмиванням» грошей як на національному, так і міжнародному рівнях. Злочином вважається легалізація брудних коштів у вигляді заміни одного грошового забезпечення іншим та у вигляді реінвестицій у законні види економічної діяльності. Практичним вирішенням цих питань займається ціла низка державних інститутів – правоохоронні органи, суди, центральний банк.

У Німеччині Комісія з нагляду за банківською діяльністю призначає в кожному банк уповноваженого з відстежування сумнівних операцій. Усі підозрілі платежі проходять тільки за його особистим підписом, оскільки цей спеціаліст відповідає за репутацію банку та клієнтів. У разі виникнення в нього сумніву щодо законності операцій, він звертається до суду.

В Україні згідно із чинним законодавством у кожному банку має бути призначений відповідальний працівник або сформований спеціальний підрозділ (відділ фінансового моніторингу), метою якого є протидія легалізації (відмиванню) коштів, отриманих злочинним шляхом.

Фінансова операція підлягає обов'язковому моніторингу, якщо сума, на якову вона проводиться, дорівнює чи перевищує 80 тис. грн або дорівнює чи перевищує суму в іноземній валюті, еквівалентну 80 тис. грн, та має одну або більше таких ознак:

- переказ грошових коштів на анонімний рахунок за кордон чи надходження грошових коштів з анонімного рахунку з-за кордону, а також переказ коштів на рахунок, відкритий у фінансовій установі в країні, що віднесена Кабінетом Міністрів України до переліку офшорних зон;

- купівлю (продаж) чеків, дорожніх чеків або інших подібних платіжних засобів за готівку;

- зарахування або переказ грошових коштів, надання або отримання кредиту (позики), проведення фінансових операцій із цінними паперами у випадку, коли хоча б одна з сторін є фізичною або юридичною особою, що має відповідну реєстрацію, місце проживання чи місце перебування в країні, яка не бере участі в міжнародному співробітництві в сфері запобігання та протидії легалізації (відмиванню) доходів, одержаних злочинним шляхом, та фінансуванні тероризму, або однією з сторін є особа, що має рахунок у банку, зареєстрованому у вищезазначеній країні;

- переказ коштів у готівковій формі за кордон з вимогою видати одержувачу кошти готівкою;

- зарахування на рахунок коштів у готівковій формі з їх подальшим переказом того самого або наступного операційного дня іншій особі;

- зарахування грошових коштів на рахунок чи списання грошових коштів з рахунку юридичної особи, період діяльності якої не перевищує трьох місяців з дня її реєстрації, або зарахування грошових коштів на рахунок чи списання грошових коштів з рахунку юридичної особи у випадку, якщо операції на зазначеному рахунку не проводилися з моменту його відкриття;

- відкриття рахунку з внесенням на нього коштів на користь третьої особи;
- переказ особою, за відсутності зовнішньоекономічного контракту, коштів за кордон;
- обмін банкнот, особливо іноземної валюти, на банкноти іншого номіналу;
- проведення фінансових операцій з цінними паперами на пред'явника, не розміщеними в депозитаріях;
- придбання особою цінних паперів за готівку;
- виплата фізичній особі страхового відшкодування або отримання страхової премії;
- виплата особі виграшу в лотерею, казино або в іншому гральному закладі;
- розміщення дорогоцінних металів, дорогоцінного каміння та інших цінностей у ломбард.

Висновки

Під детінізацією розуміється економіко-правовий механізм, який спрямований на подолання причин та передумов тіньових явищ та процесів. Метою детінізації має стати зниження рівня тіньової економіки завдяки створенню сприятливих умов для залучення тіньового капіталу в офіційну економіку країни.

У сучасних умовах детінізація економіки входить до національних пріоритетів державної політики України. Проте дотепер не створено чіткого механізму міжвідомчої координації, ефективного й системного використання усіх наявних ресурсів і засобів правоохоронних, контролюючих, фінансових та інших державних органів.

З метою подолання негативних наслідків тінізації необхідно розробити та впровадити такі заходи:

- реалізувати «амністію» капіталів некримінального походження;
- запровадити податкові стимули до нагромадження та інвестування коштів у інноваційний сектор;
- спростити погоджувальні та дозвоільні процедури щодо здійснення підприємницької діяльності;
- звузити фінансову базу тіньового господарювання шляхом зменшення рівня оподаткування фізичних осіб на величину документального підтвердження їх коштів, витрачених на розвиток людського капіталу (наприклад, навчання у вищих навчальних закладах);
- впровадити теоретичні розробки з виявлення тіньових фінансово-промислових угруповань та ліквідації схем легалізації коштів, набутих злочинним шляхом;

- реформувати систему звітності правоохоронних органів відповідно до міжнародних стандартів;
- узгодити контрольно-ревізійні функції правоохоронних органів (МВС, Служби безпеки України, Генеральної Прокуратури) у сфері легалізації тіньових капіталів;
- прискорити розвиток фінансових ринків та корпоративного сектору відповідно до європейських стандартів;
- реформувати судову гілку влади.

У банківському секторі необхідно створити єдину інформаційно-аналітичну систему для відстеження фінансових операцій та розширити перелік самих операцій, які підлягають моніторингу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Transparency International [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.transparency.org/>
2. ЛІГА Online [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.liga.net>
3. Варналій, З. Шляхи детінізації економіки України та її особливості [Текст] / З. Варналій // Банківська справа. – 2007. – № 2. – С. 56-66.
4. Дяченко, Я. Логіка упорядкування понятійного апарату і протидії тіньовій економіці [Текст] / Я. Дяченко // Фінанси України. – 2007. – № 12. – С. 41-46.
5. Степаненко, А. Боротьба з «відмиванням» грошей у банківському секторі економіки [Текст] / А. Степаненко // Банківська справа. – 2003. – № 5. – С. 3-10.
6. Мазур, І. Протидія функціонуванню тіньової діяльності в банківській системі [Текст] / І. Мазур // Банківська справа. – 2003. – № 4. – С. 62-65.
7. Закон України «Про запобігання та протидію легалізації (відмивання) доходів, одержаних злочинним шляхом» від 28.11.2002 р. № 249-IV [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua>
8. Закон України «Про банки і банківську діяльність» від 07.12.2000 р. № 2121-III [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua>
9. Закон України «Про фінансові послуги та державне регулювання ринків фінансових послуг» від 12.07.2001 р. № 2664-III [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua>
10. Постанови Правління Національного банку України «Положення про здійснення банками фінансового моніторингу» від 14.05.2003 р. № 189 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua>

Надійшла до редколегії 18.01.2010.

Прийнята до друку 21.01.2010.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНАНСОВОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В РАСЧЕТАХ ЗА МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРУЗОВЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Запропоновано внести зміни в Правила Комплексних Розрахунків, що застосовуються державами-учасниками Співдружності Незалежних Держав та Держав Балтії в розрахунках за міжнародні вантажні перевезення.

Предложено внести изменения в Правила Комплексных Расчетов, которые применяют государства-участники Содружества Независимых Государств и Государств Балтии в расчетах за международные грузовые перевозки.

It is suggested to bring in changes into the Rules of Complex Payments applied by the states-participants of the Commonwealth of Independent States and the Baltic States in payments for international freight transportations.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и применение эффективной системы экономической ответственности за несвоевременное проведение платежей за международные грузовые перевозки в современных экономических условиях позволит повысить финансовую дисциплину железнодорожных администраций, и, как результат – стабильность работы предприятий и государств.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Совершенствование отдельных элементов механизма, регулирующего экономическую ответственность за несвоевременное проведение платежей за международные грузовые перевозки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В условиях современных рыночных отношений большое значение имеет соблюдение финансовой дисциплины всеми участниками международных железнодорожных перевозок при проведении взаиморасчетов за выполненные железнодорожные перевозки и предоставленные услуги. Финансовая дисциплина является необходимым условием стабильности не только предприятий, но и государств. Она предполагает финансовую ответственность за полное и своевременное выполнение финансовых обязательств перед государством (бюджетом), банками, вышестоящими организациями и контрагентами (поставщиками, подрядчиками и т.д.), перед персоналом, занятым в данной структуре, а также обеспечение эффективной работы самой структуры.

Международной практикой и законодательством многих государств при заключении хозяйственных договоров закреплён принцип полного возмещения должником кредитору

убытков в случае неисполнения или ненадлежащего исполнения обязательств, а также применение штрафных санкций за нарушение исполнения взятых обязательств, в том числе и за несвоевременную оплату причитающихся сумм.

Штрафные санкции охватывают понятия «штраф» и «пеня», которые отличаются по своей природе, но оба направлены на обеспечение своевременного и надлежащего исполнения обязательства и недопущение наступления убытков. При этом «штраф» является одноразовой денежной санкцией, направленной на недопущение нарушения вообще, а «пеня» – санкцией, направленной на наиболее быстрое прекращение нарушения обязательства, поскольку ее размер постоянно увеличивается.

Убытки кредитора определяются видами потерь, а именно: потеря или повреждение его имущества; неполученные доходы, которые кредитор получил бы в случае надлежащего исполнения обязательства дебитором; вынужденные расходы, связанные с неисполнением договорных обязательств.

Учитывая, что в данной работе рассматривается один из элементов системы финансовой ответственности, а именно – своевременность получения денежных средств за выполненные грузовые и пассажирские перевозки и связанные с ними услуги — отсрочку платежа целесообразно рассматривать как вынужденное кредитование дебитора, т.к. денежные средства отвлекаются из оборота кредитора.

Размер банковских ставок кредитования напрямую зависит от межбанковской процентной ставки. Межбанковская процентная ставка – средняя ставка по краткосрочным банковским кредитами, которая формируется на межбанковском денежном рынке. В международной практике для этого используют ставку Libor

(London Interbank Offered Rate), которая является базовой ставкой для установления другими банками своих кредитных процентных ставок. Для кредитования юридических и физических лиц банки к базовой ставке добавляют проценты и ставка кредитования выглядит так: LIBOR плюс проценты, где проценты – это, фактически, прибыль банка.

Ставка Libor устанавливается для валют тех государств, банки которых являются членами Британской Банковской Ассоциации (British Bankers' Association – BBA). Ставка Libor вычисляется для следующих валют: австралийский доллар, датская крона, доллар США, евро, канадский доллар, новозеландский доллар, фунт стерлингов, шведская крона, швейцарский франк, японская иена. В пределах одного государства рассчитывается соответствующая ставка для национальной валюты.

В Украине основную межбанковскую процентную ставку представляет учетная ставка Национального банка, откорректированная с учетом уровня кредитного и инфляционного рынка, а также величины банковской маржи. Валюты стран СНГ и Балтии имеют свои внутренние – национальные межбанковские ставки.

Значение LIBOR ставки для евро редко используется на практике – более важную роль играет EURIBOR. Европейская межбанковская ставка предложения (EURIBOR) (*англ.* European Interbank Offered Rate, Euribor) – средневзвешенная процентная ставка по межбанковским кредитам, предоставляемым в евро. Определяется при поддержке Европейской банковской федерации, представляющей интересы 4500 банков стран Евросоюза, а также Исландии, Норвегии, Швейцарии и Ассоциации финансовых рынков. Расчет и публикация котировки ставки выполняется компанией Reuters ежедневно в 11:00 по Центрально-европейскому времени (CET) на основании данных, предоставляемых несколькими десятками банков с первоклассным рейтингом. Перечень котированных банков регулярно пересматривается на соответствие высоким рейтинговым требованиям. Подсчет ставки выполняется для различных сроков – от 1 недели до 12 месяцев.

Ставка рефинансирования (учетная ставка) – процентная ставка, которую использует центральный банк при предоставлении кредитов коммерческим банкам в порядке рефинансирования. Учетная ставка используется для определения стоимости привлеченных или размещенных денежных средств, в том числе для начисления процентов за пользование чужими деньгами и начисления пени за несвоевременное выполнение финансовых обязательств.

Сравнительные данные об имеющихся действующих на 17 июля 2008 г. ставках рефинансирования (учетных ставках) для национальных валют стран СНГ и Республик Балтии приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ставки рефинансирования (учетные ставки), установленные центральными банками государств, действующие на 17 июля 2008 г.

Название государства	Учетная ставка (%)
Азербайджан	14
Армения	7,25
Беларусь	10,25
Грузия	12
Казахстан	10,5
Киргизстан	
Молдова	18,5
Россия	10,75
Таджикистан	
Туркменистан	
Узбекистан	14
Украина	12
Латвия	6
Литва	4,4...6,8
Эстония	4,5...7

Природа кредитного договора обуславливает необходимость имущественной ответственности ее участников за выполнение принятых на себя обязательств. При кредитовании решающее значение имеет согласование таких характеристик, как обеспечение займа, срок кредитования, размер процентной ставки за пользование кредитом, ответственность сторон за невыполнение принятых на себя обязательств и с целью соблюдения финансовой дисциплины: увеличенный процент за пользование просроченной суммой кредита; возмещение в полном объеме убытков сверх неустойки (штраф, пеня), предусмотренной договором; размер пени (как правило, это максимальная ставка, предусмотренная законодательством государства, действовавшей в период, за который начисляется пеня). Например, для Украины максимальной ставкой пени является удвоенная учетная ставка национального банка Украины.

Основными стимулирующими мотивами кредитных договоров со стороны кредитора является получение дохода в виде процента за

пользование займом, а со стороны заемщика – покрытие недостачи собственных ресурсов и получение дохода в результате использования заемной стоимости.

Перевозки пассажиров и грузов в международном сообщении осуществляются на основании международных соглашений СМГС, СМПС и Конвенции КОТИФ/СОТИФ. В соответствии с указанными документами, накладные на перевозку грузов и проездные документы на перевозку пассажиров в международном сообщении являются международным договором на выполнение перевозки между сопричастными железными дорогами. Порядок проведения взаиморасчетов между железными дорогами регламентирован международными правилами о проведении расчетов (Правила о расчетах, Правила комплексных расчетов, Памятка МСЖД № 311). Поэтому эти правила следует классифицировать как международный договор.

В указанных правилах для снижения рисков возможных неплатежей предусмотрено начисление процентов за просрочку платежа. В частности, на основании п. 4.8 Правил комплексных расчетов (далее ПКР), регламентирующих порядок проведения расчетов между железнодорожными администрациями государств СНГ и Балтии, за просрочку платежей сторона-дебитор оплачивает стороне-кредитору 6 % годовых (простые несложные проценты) за все дни просрочки со всей суммы несвоевременно поступающих платежей.

Т.к. оплата за международные перевозки во взаимоотношениях между железными дорогами осуществляется на 2...3 месяца позже, чем выполнена перевозка и получены денежные средства от пассажиров, грузоотправителей/грузополучателей, экспедиторских компаний, нарушение договорных обязательств по срокам оплаты увеличивает потери железных дорог от ликвидности и недополученные доходы.

Поэтому порядок начисления процентов за просрочку платежей целесообразно рассматривать как плату за пользование средствами кредитора за тот период, в котором дебитор неправомерно ими пользовался, т.е. как вынужденный денежный кредит в отношениях между железными дорогами.

А поскольку само понятие кредитования предусматривает получение дохода в виде процентов за пользование заемными средствами, базовая процентная ставка для начисления процентов за все время пользования чужими денежными средствами должна быть не ниже средневзвешенной месячной ставки LIBOR по предоставлению межбанковского кредита для платежей в швейцарских франках или ставки

рефинансирования (учетной ставки) национальных банков государств, железные дороги которых являются участниками соответствующих правил о взаиморасчетах. При этом к базовой процентной ставке, действующий в период, за который начисляются проценты, должна быть установлена фиксированная надбавка в несколько пунктов с учетом уровня кредитного и инфляционного рынка и маржи.

ВЫВОДЫ

Для внесения изменений и дополнений в ПКР необходимо, в первую очередь, привести в соответствие с международными и законодательными нормами порядок применения экономических санкций в отношениях между железными дорогами. А именно:

- начислять проценты за каждый день просрочки на всю сумму просроченного платежа, а не на сумму несвоевременно поступающих платежей, как это предусмотрено ПКР;
- применять процент для начисления пени за просрочку платежей с учетом действующих на международном валютном рынке процентных ставок кредитования с установленной в несколько пунктов надбавкой (по примеру Памятки МСЖД 311 и Регламента ВСС);
- взыскание процентов должно быть безакцептным, и начисление процентов должно осуществляться за все дни просрочки на всю сумму платежного сальдо, т.е. сложные проценты;
- ввести взимание штрафа за нарушение исполнения договорных обязательств, размер которого установить в зависимости от сроков невыполнения обязательств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хозяйственный кодекс Украины [Текст]. – Х.: ООО «Одиссей», 2004. – 232 с.
2. Правила комплексных расчетов между железнодорожными администрациями государств-участников Содружества Независимых Государств, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики (в редакции с изменениями и дополнениями от: 20.11.1996 г., 07.03.2001 г., 01.10.2003 г., 11.06.2004 г., 25.02.2005 г., 13.04.2006 г., 13.10.2006 г., 23.11.2007 г.) [Текст] : Утверждены на 12-м заседании Совета по железнодорожному транспорту 10 декабря 1994 г.
3. Правила пользования вагонами в международном сообщении (ППВ) [Текст]. Приложение № 1 к Договору о ППВ. Действуют с 1 ноября 1951 г. (переиздано с изменениями и дополнениями на 1 июня 2004 г.).

Поступила в редколлегию 14.01.2010.

Принята к печати 19.01.2010.

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ ЛІЦЕНЗІЇ НА ВИРОБНИЦТВО ПРОДУКЦІЇ

Розглядається метод встановлення ціни ліцензії на виробництво промислової продукції на етапі укладання ліцензійної угоди. Вказана ціна визначається економічним ефектом ліцензіата від комерційного використання об'єкта інтелектуальної власності, що є предметом ліцензійної угоди. Ціна ліцензії визначається з умови рівності грошових потоків ліцензіата за варіантами виробництва ліцензійної або розробки власної продукції, яка аналогічна ліцензійній. Цей метод також придатний для обґрунтування ставки роялті при оцінці майнових прав інтелектуальної власності.

Рассматривается метод определения цены лицензии на производство промышленной продукции на этапе заключения лицензионного соглашения. Указанная цена определяется экономическим эффектом лицензиата от коммерческого использования объекта интеллектуальной собственности, являющегося предметом лицензионного соглашения. Цена лицензии определяется из условия равенства денежных потоков лицензиата по вариантам производства лицензионной или разработки собственной продукции, аналогичной лицензионной. Этот метод также пригоден для обоснования ставки роялти при оценке имущественных прав интеллектуальной собственности.

The method for determination of license cost on manufacturing the industrial products on the stage of conclusion of a license contract is considered. The indicated cost is determined with the economic effect of licensee from the commercial use of an object of intellectual property being the license contract object. The license cost is determined from the condition of equality of cash flow of licensee on the variants of manufacturing the licensed products or developing the own products analogous to the licensed ones. This method is also suitable for the justification of royalty rate at the estimation of ownership rights of intellectual property.

Вступ

Під ліцензією у світовій практиці розуміють право, що надається власником науково-технічної розробки іншій особі на використання технічних досягнень, наукових знань, виробничого досвіду, а також правової охорони предмета розробки. Як правило, передача такого права здійснюється у рамках ліцензійного договору – угоди, за умовами якої власник розробки (ліцензіар) на платній основі надає покупцю (ліцензіатові) можливість на обговорених умовах використовувати право на об'єкт інтелектуальної власності для одержання економічних вигод. Під ціною ліцензії звичайно розуміють виплати ліцензіата на користь ліцензіара. Визначення ціни ліцензії – одне з найбільш складних питань ліцензійної торгівлі, оскільки реальна комерційна цінність передаваних по ліцензії прав на об'єкти інтелектуальної власності може бути встановлена лише у процесі використання цих об'єктів у майбутньому. Крім того, за своєю суттю об'єкти інтелектуальної власності, що є предметом ліцензійних угод, є індивідуальними й істотно відрізняються від подібних об'єктів. Ця обставина значно обмежує можливість визначення ціни ліцензії за аналогією з укладеними раніше угодами.

Виплати ліцензіата на користь ліцензіара можуть проводитись у вигляді одноразового (паушального) платежу, або у формі поточних періодичних відрахувань (роялті), розмір яких визначається виходячи з фактичного економічного результату використання об'єкта ліцензійної угоди. Може бути передбачене суміщення зазначених форм.

У міжнародній практиці частіше використовується метод винагороди у виді роялті. Ціна ліцензії за умови платежу у виді відсоткових відрахувань (роялті) є основою для визначення її ціни для інших видів платежів: паушальних і комбінованих. Найбільш розповсюдженою базою для обчислення роялті є ціна одиниці ліцензійної продукції, або вартість виробленої ліцензійної продукції. Застосування цієї бази роялті приводить до найменшого числа конфліктів між партнерами і широко використовується в міжнародній практиці торгівлі ліцензіями [1].

До основних факторів, що впливають на розмір винагороди за ліцензію, відносяться такі [1]:

– технічна цінність винаходу чи комерційної таємниці («ноу-хау»), що забезпечує ліцензіатові одержання додаткового прибутку від використання предмета ліцензії;

– розмір капіталовкладень, необхідних для організації виробництва ліцензійної продукції;

– території за угодою, на яких ліцензіатові надане право використання технології для організації виробництва і продажу ліцензійної продукції;

– обсяг прав, що одержав ліцензіат (виняткове чи невиняткове) на використання технології у рамках зазначеної території;

– витрати потенційного ліцензіата на власні дослідження з розробки технології, порівнянної за економічними вигодами із тією, що є предметом ліцензійної угоди;

– обсяг переданої технічної документації, що містить суть наукової розробки чи «ноу-хау»;

– залежність ліцензіата від ліцензіара у сировині, матеріалах, деталях і вузлах, необхідних для організації виробництва ліцензійної продукції;

– умови обміном технічними удосконаленнями як забезпеченими, так і незабезпеченими патентним захистом;

– обсяг технічної допомоги, що надається ліцензіаром ліцензіатові в освоєнні придбаної ним ліцензії;

– наявність конкурентних пропозицій на надання об'єктів інтелектуальної власності, які є порівнянними за економічними вигодами від їхнього використання із об'єктом ліцензійної угоди;

– державне регулювання ліцензійної торгівлі;

– вид платежу за ліцензію;

– умови про судові витрати за можливими позовами третіх осіб щодо порушення їхніх патентних прав;

– інші умови.

Суттєвим питанням ліцензійної торгівлі є кількісне визначення ступеня впливу зазначених факторів на ціну ліцензії. Очевидно, що ціна ліцензій повинна визначатись тим економічним ефектом, який вона забезпечує ліцензіату. Тому постає питання визначення його розміру, раціонального способу розподілу між сторонами угоди та переведення у форму певних ліцензійних виплат.

Постановка задачі

Задачею цієї роботи є розробка методу визначення ціни ліцензії на виробництво продукції на етапі укладання ліцензійної угоди, за яким ціна ліцензії встановлюється виходячи з очікуваних результатів комерціалізації об'єкта

інтелектуальної власності, щодо якого укладається ліцензійна угода.

Результати дослідження

Економічний ефект для ліцензіата від придбання ліцензії формується з двох основних складових:

– економія витрат на проведення власних досліджень по розробці продукції, аналогічної ліцензійній;

– економія часу, пов'язаного з розробкою й освоєнням власної продукції, що аналогічна ліцензійній.

За рахунок економії часу ліцензіат раніше виходить на ринок з ліцензійною продукцією, що наближає у часі до поточного моменту одержання прибутку від виробництва ліцензійної продукції та формує економічний ефект, пов'язаний з різницею у вартості грошей у часі (часовий лаг). Крім того, скоріший вихід ліцензіата на ринок може принести деякі конкурентні переваги, що забезпечить ліцензіатові більшу частку ринку.

Основою для визначення ставки роялті може виступати рівність поточної вартості грошових потоків ліцензіата для двох варіантів освоєння виробництва ліцензійної продукції:

– на основі придбання ліцензії;

– на основі проведення власних досліджень для розробки і впровадження у виробництво продукції, що аналогічна ліцензійній.

Таким чином, ставка роялті може бути встановлена з рівняння:

$$\begin{aligned} & Q_1 \cdot (C_1 - C_1 - x \cdot C_1 \cdot (1 + H_{\text{пдв}})) \times \\ & \times (1 - H_{\text{пп}}) \cdot \frac{1 - (1 + R)^{-T}}{R} - B_{\text{ocl}} = \\ & = Q_0 (C_0 - C_0) (1 - H_{\text{пп}}) \frac{1 - (1 + R)^{-T}}{R} (1 + R)^{-t} - \\ & - B_{\text{ocl}} \cdot (1 + R)^{-t} - B_{\text{ндр}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де x – відносна ставка роялті (до виторгу від реалізації ліцензійної продукції), частка;

Q_1 – очікуваний середньорічний обсяг виробництва ліцензійної продукції у натуральних одиницях;

C_1 – очікувана ціна реалізації ліцензійної продукції без ПДВ, грн;

C_1 – очікувана собівартість виробництва ліцензійної продукції без урахування ліцензійних платежів, грн;

$H_{\text{пдв}}$ – ставка податку на додаткову вартість, частка;

$H_{\text{пп}}$ – ставка податку на прибуток, частка;

R – вартість власного капіталу ліцензіата (реальна норма доходу), частка;

$B_{\text{ос1}}$ – витрати на освоєння виробництва ліцензійної продукції, грн;

Q_0 – очікуваний середньорічний обсяг виробництва продукції, що аналогічна ліцензійній, у натуральних одиницях;

Π_0 – очікувана ціна реалізації продукції, що аналогічна ліцензійній, без ПДВ, грн;

C_0 – очікувана собівартість виробництва продукції, що аналогічна ліцензійній, грн;

$B_{\text{ос0}}$ – витрати на освоєння виробництва продукції, що аналогічна ліцензійній, грн;

$B_{\text{ндр}}$ – витрати ліцензіата на проведення власних досліджень з розробки продукції, що аналогічна ліцензійній, грн;

T – термін ліцензійного договору, років;

t – очікуваний термін розробки ліцензіатом продукції, що аналогічна ліцензійній, років.

Проведення алгебраїчних перетворень рівняння (1) дозволяє побудувати економіко-математичну модель відносної ставки роялті:

$$x = \frac{\left\{ \left(Q_1 (\Pi_1 - C_1) - Q_0 (\Pi_0 - C_0) (1+R)^{-t} \right) + \frac{B_{\text{ндр}} + B_{\text{ос0}} (1+R)^{-t} - B_{\text{ос1}}}{(1-H_{\text{пп}})} \cdot \frac{R}{1-(1+R)^{-T}} \right\}}{Q_1 \Pi_1 (1+H_{\text{пдв}})} \quad (2)$$

Аналіз моделі (2) свідчить, що відносна ставка роялті прямо залежить від тривалості розробки ліцензіатом продукції, яка аналогічна ліцензійній, що дозволяє враховувати економічний ефект, який виникає у ліцензіата за рахунок лага у часі між виходом на ринок з ліцензійною продукцією і з продукцією власної розробки, що аналогічна ліцензійній. Також ставка роялті збільшується, якщо ціна ліцензійної продукції вища за ціну продукції власної розробки ліцензіата. Така різниця у ціні виникає при наявності монопольної ренти, одержання якої (у силу своїх унікальних характеристик) забезпечує об'єкт права інтелектуальної власності, що є об'єктом ліцензійної угоди. Крім того, ставка роялті збільшується, якщо очікуваний обсяг виробництва ліцензійної продукції більший за очікуваний річний обсяг виробництва продукції, що аналогічна ліцензійній, що дозволяє враховувати конкурентні переваги, які може забезпечити придбання ліцензії. Ставка роялті збільшується, якщо очікувана собівар-

тість виробництва ліцензійної продукції нижче, ніж очікувана собівартість виробництва аналогічної продукції власної розробки ліцензіата, що також дозволяє враховувати індивідуальні особливості та комерційну цінність об'єкта інтелектуальної власності, що є об'єктом ліцензійної угоди. Також величина ставки роялті прямо залежить від розміру витрат на проведення ліцензіатом власних досліджень для розробки продукції, що аналогічна ліцензійній. Зворотна залежність ставки роялті спостерігається з величиною витрат на освоєння виробництва ліцензійної продукції.

Таким чином, отримана модель ставки роялті (2) коректно відбиває теоретично очікуваний характер впливу розглянутих факторів на величину ціни ліцензії.

У випадку, коли немає підстав припускати, що ціна, собівартість і обсяги виробництва ліцензійної продукції будуть відрізнятися від відповідних показників розробленої самим ліцензіатом продукції, що аналогічна ліцензійній, будуть справедливі тотожності $Q_1 = Q_0 = Q$, $\Pi_1 = \Pi_0 = \Pi$, $C_1 = C_0 = C$, а також $B_{\text{ос1}} = B_{\text{ос2}} = B_{\text{ос}}$. Після відповідних алгебраїчних перетворень модель (2) набуває вигляду:

$$x = \frac{\left\{ Q \cdot (\Pi - C) + \frac{B_{\text{ндр}} \cdot \left(1 - (1+R)^{-t} \right)^{-1} - B_{\text{ос}}}{(1-H_{\text{пп}})} \cdot \frac{R}{1-(1+R)^{-T}} \right\}}{Q \Pi (1+H_{\text{пдв}})} \times \left(1 - (1+R)^{-t} \right) \quad (3)$$

Відносна ставка роялті встановлюється у відсотках стосовно виторгу від реалізації ліцензійної продукції (або ціні одиниці продукції з ПДВ). Виходячи з відносної ставки роялті можуть бути обґрунтовані абсолютна ставка роялті та ціна ліцензії у виді паушального платежу.

Базою для абсолютної ставки роялті є кількість одиниць проданої продукції у натуральному вимірі. Вона встановлюється у грошових одиницях і може бути визначена за формулою:

$$P_{\text{аб}} = \Pi (1+H_{\text{пдв}}) x, \quad (4)$$

де $P_{\text{аб}}$ – абсолютна ставка роялті у грошових одиницях на одиницю продукції.

Ціна ліцензії у виді паушального платежу визначається як поточна вартість періодичних ліцензійних платежів за весь термін ліцензійної угоди:

$$L = QЦ(1 + H_{\text{пдв}})x \frac{1 - (1 + R)^{-T}}{R} (1 - H_{\text{пп}}), \quad (5)$$

де L – ціна ліцензії у вигляді паушального платежу, грн.

Висновки

Розроблена у цій статті економіко-математична модель заснована на вивченні ліцензійної угоди як інвестиційного проекту ліцензіата. Такий підхід дозволяє визначати ціну ліцензії на основі основних принципів оцінки економічної ефективності інвестиційного проекту і за допомогою методів оцінки зазначеної ефективності.

Отримана модель дозволяє враховувати основні фактори, що впливають на ціну ліцензії, і

може використовуватися як на стадії укладання ліцензійної угоди, так і в інших випадках (наприклад, для оцінки майнових прав інтелектуальної власності при реалізації методу роялті [2]).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Цыбулев, П. Н. Оценка интеллектуальной собственности [Текст] : учеб. пособие / П. Н. Цыбулев. – К.: Ин-т интелект. собств. и права, 2005. – 192 с.
2. Національний стандарт №4 «Оцінка майнових прав інтелектуальної власності» [Текст] : Затв.: Постанова Кабінету Міністрів України від 03.10.2007 № 1185.

Надійшла до редколегії 06.10.2009.

Прийнята до друку 22.10.2009.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД В ОБҐРУНТУВАННІ РІВНЯ ВИТРАТ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЦЬ

За допомогою системного підходу досліджуються витрати інфраструктури залізничного транспорту та їх залежність від основних показників діяльності залізниць у сучасних умовах.

С помощью системного подхода исследуются эксплуатационные затраты инфраструктуры железнодорожного транспорта и их зависимость от основных показателей железных дорог в современных условиях.

The operation expenses of railway transport infrastructure and their dependency on the main indices of railways in the modern conditions are studied by means of a system approach.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Системний розгляд явища, у тому числі виробничого, транспортного процесу є необхідним при виконанні його наукового дослідження.

У процесі дослідження об'єкт спочатку представляється як деяка система, а потім виявляється закономірна картина стійких відносин елементів у заданій системі.

Системний підхід являє собою сукупність методологічних принципів і теоретичних положень, що дозволяють розглядати кожен елемент системи в його зв'язку й взаємодією з іншими елементами, простежувати зміни, що відбуваються в системі у результаті зміни окремих її ланок, робити обґрунтовані висновки щодо закономірностей розвитку системи, визначати оптимальний режим її функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор

Системний аналіз виступає як комплекс спеціальних процедур, прийомів, методів, що забезпечують реалізацію системного підходу [1].

Прикладом систем великого масштабу або тих, що до них наближаються, можуть бути транспортні системи [2].

Характерні риси систем: визначена цілісність або єдність системи (наявність у неї загальної мети); великі розміри системи, що характеризується великим числом виконуваних функцій, входів й абсолютною вартістю; складність поведінки системи; нерегулярність у часі над-

ходження зовнішніх коливань; наявність конкуруючих сторін.

Методологія системного рішення націлена на великомасштабні, складні проблеми. При рішенні проблем повинні послідовно виконуватися такі функції:

1. Аналіз проблеми (визначення сутності проблеми, точне її формулювання, аналіз логічної структури, розвитку проблеми, виділення зовнішніх зв'язків, оцінка принципової можливості розв'язання проблеми);

2. Визначення, конструювання системи (визначення цілей і завдань, визначення системних об'єктів, виділення підсистем, специфікація процесів і функцій);

3. Аналіз структури системи (визначення рівнів ієрархії, специфікація підсистем, процесів і функцій);

4. Формулювання загальної мети й критерію системи (визначення цілей систем вищого порядку, цілей й обмежень зовнішнього середовища, формулювання загальної мети визначення критерію, декомпозиція цілей і критеріїв підсистем);

5. Декомпозиція цілі, виявлення потреби в ресурсах і процесах;

6. Оцінка ресурсів (оцінка існуючих технологій і потужностей, існуючого стану ресурсів, взаємодія з іншими системами, соціальними факторами);

7. Прогноз та аналіз майбутніх умов (аналіз стійких тенденцій розвитку проблеми, прогноз розвитку й зміни середовища, прогноз появи нових факторів, що надають вплив на систему; аналіз ресурсів майбутнього, аналіз можливих коректувань цілей і критеріїв);

8. Оцінка цілей і засобів;

9. Формування альтернатив рішення проблеми й відбір варіантів (оцінка альтернатив за критерієм, порівняння й вибір варіантів);

10. Побудова комплексної програми рішення (формулювання заходів, проектів і програм, визначення черговості цілей і заходів щодо їхнього досягнення, розподіл сфер діяльності, компетентності, розробка плану заходів в умовах обмежень по ресурсах і часу);

11. Проектування організації для досягнення цілі (призначення цілі організації, функцій, проектування організаційної структури, інформаційних потоків, режимів роботи).

Завдання застосування методів системного аналізу до деякого складного об'єкта, складної системи полягає в побудові моделі системи, тобто представленні системи у вигляді блок-схеми або системи таким чином, щоб можна було використати модель для адекватного опису поведінки системи. У досліджуваній математичній системі виділяються ті зв'язки й відносини, які становлять найбільший інтерес. Таким чином, формується деяка система, що відображає зв'язки й відносини вихідної системи. Модель варто вважати адекватною, якщо всі ствердження, правдиві в досліджуваній системі, вірні й у моделі. У цьому випадку вивчення вихідної системи можна виконувати через дослідження моделі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття

Основна особливість залізничних перевезень полягає в тому, що продукція транспорту використовується всіма галузями економіки. Тарифи на перевезення входять складовою частиною в ціни кожного з видів продукції промисловості й впливають на економіку країни в цілому.

Економічне обґрунтування рівня плати за користування інфраструктурою залізничного транспорту є складним завданням, що вимагає проведення глибоких теоретичних досліджень і розробки методичних підходів і комплексних рішень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою даної статті є вирішення нової проблеми, що постала перед галуззю - економічне обґрунтування рівня плати за користування інфраструктурою залізниць. При цьому необхідно враховувати фактори, що впливають на залежні й умовно-постійні витрати: вид і обсяг перевезень, зношування основних фондів, категорію колії, густоту перевезень, безпека руху поїздів, схоронність вантажів, якість транспортного обслуговування й інші фактори.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Проблема визначення рівня плати за користування інфраструктурою залізниць може зважуватися на основі розподілу витрат інфраструктури по операціях перевізного процесу, зв'язку їх (залежних і умовно-постійних) з різними вимірниками й показниками роботи окремих галузевих господарств залізниць і вдосконалювання методів розрахунку.

Існуюча на залізничному транспорті звітність дозволяє визначити тільки середню собівартість на одиницю транспортної роботи. Для тарифних цілей собівартість повинна розраховуватися за тими ж ознакам, по яких диференційована тарифна система (відстань, тип вагону, його приналежність і завантаження й ін.). Спосіб розрахунку собівартості перевезень для тарифних цілей ґрунтується на використанні методу видаткових ставок, при цьому застосовується система укрупнених ставок з поділом по операціях перевізного процесу (початково-кінцева – ПКО й рухома – ДО). Цим методом можна розподіляти витрати, пов'язані з роботою рухомого складу й утримання, ремонтом і амортизацією постійних устроїв, тобто як залежні, так і умовно-постійні витрати. У багатьох випадках необхідно застосовувати, поряд з методом укрупнених видаткових ставок, елементи прямого рахунку по окремих видах робіт, зв'язаних зі специфікою перевезень окремих вантажів.

Модель визначення витрат інфраструктури для обґрунтування рівня плати її за послуги повинна розроблятися відповідно до загальної моделі розрахунку собівартості перевезень для тарифних цілей.

Основними параметрами моделі розрахунку собівартості перевезень є:

- визначення величини укрупнених видаткових ставок (УВС) на основі звіту форми 14-зал. за річний період, зведених даних калькуляцій залізниць по видах перевезень і по операціях перевізного процесу (по вантажних перевезеннях), а також даних про експлуатаційні показники роботи мережі залізниць;

- постатейний розподіл витрат, віднесених на вантажні перевезення по операціях перевізного процесу (ПКО й ДО);

- вибір вимірників, від яких залежить величина витрат по вагонній складовій та витрат інфраструктури;

- розробка методики визначення складу витрат, що відносяться на відповідні вимірники та включаються до УВС, відповідно:

- а) по операціях перевізного процесу;
- б) по вагонній складовій парку Укрзалізниці;
- в) по перевезеннях у відповідних вагонах;
- г) по використанню інфраструктури й локомотивів;

Розрахунок УВС передбачає три основних вимірники: для ПКО – завантажений вагон; для ДО – вагоно-км, тонно-км брутто.

Алгоритм розрахунку собівартості перевезення вантажів може бути представлений у вигляді:

$$C = C_{\text{пк}} + C_{\text{рух}} \cdot L \cdot K_L ;$$

де $C_{\text{пк}}$ – собівартість початково-кінцевих операцій, грн/вагон;

$C_{\text{рух}}$ – собівартість рухомих операцій, грн/ваг-км;

L – тарифна відстань перевезення, км;

K_L – коефіцієнт, що коректує вартість рухомої операції залежно від відстані.

Параметрична модель визначення собівартості перевезень при підстановці відповідних числових значень постійних параметрів і нарахування необхідного рівня рентабельності перетвориться у формулу тарифної системи.

Розподіл витрат по операціях перевізного процесу має велике практичне значення для рішення багатьох техніко-економічних завдань. Для визначення рівня тарифів, розрахунку цін, визначення собівартості по ділянках і напрямках, по категоріях поїздів витрати розподіляються на дві операції – початково-кінцеву й рухому.

До початково-кінцевої операції по вантажних перевезеннях відносяться прийом і видача вантажу, оформлення вантажу для перевезення, подача вагонів під навантаження, вивантаження на колії формування й ін. операції, виконувані на станції навантаження й вивантаження.

При розподілі на дві операції витрати по первісному формуванню поїздів і розформуванню їх на станціях прибуття вантажів відносять до початково-кінцевої операції, а витрати по переформуванню складів у колії проходження – до рухомої операції.

Рухома операція починається з подачі вагона на приймально-відправні колії й закінчується на наступній станції прибиранням вагона із приймально-відправних колій (на великих вантажних, сортувальних, дільничних станціях). На проміжних станціях операція пересування починається з моменту закінчення маневрів поїзними локомотивами й закінчується моментом початку маневрів на наступній станції.

З початково-кінцевою операцією частково зв'язані наступні витрати на утримання і експлуатацію інфраструктури: витрати по маневровій роботі на станціях, по прийому й відправленню поїздів, по утриманню, одиночній зміні матеріалів верхньої будови колії й амортизації вантажно-розвантажувальних колій, утримання будинків, споруд, устаткування й інвентарю для вантажних операцій, витрати по утриманню й амортизації устроїв СЦБ і зв'язку, утримання апарата керування й інших статей.

Витрати на утримання і експлуатацію інфраструктури, віднесені до рухомої операції – це витрати галузових господарств: колії, електропостачання, СЦБ і зв'язку, господарства перевезень (витрати по маневровій роботі на станціях, прийом і відправлення поїздів), витрати по поточному утриманню й ремонту виробничих будинків і споруд галузових господарств, крім господарства вантажної та комерційної роботи, витрати по утриманню апарата керування).

Процес розподілу витрат по операціях перевізного процесу є трудомістким завданням. Складність калькулювання витрат полягає в тому, що більшість статей витрат, пов'язаних з виконанням різних операцій, ураховується спільно. Таким чином, тільки за допомогою спеціальних розрахункових прийомів можна розподілити непрямі витрати по операціях перевізного процесу.

Відповідно до методики розподілу непрямих, основних прямих матеріальних витрат та прямих витрат на оплату праці залізниці, віднесених на вантажні перевезення по операціях перевізного процесу виконано розрахунок з розподілу витрат на утримання інфраструктури по операціях перевізного процесу. Розрахунки показали, що на початково-кінцеві операції доводиться 16,3 % витрат інфраструктури, у тому числі прямі матеріальні витрати та прямі витрати на оплату праці по початково-кінцевих операціях становлять 11,4 %, інші прямі витрати й змінні загальновиробничі та постійні розподілені загальновиробничі витрати – 4,9 %. На операцію пересування віднесено 83,7 %, при цьому на частку прямих матеріальних витрат та прямих витрат на оплату праці доводиться 63,9 %, на інші прямі витрати й змінні загальновиробничі та постійні розподілені загальновиробничі витрати – 19,8 %.

У витратах інфраструктури по початково-кінцевих операціях питома вага прямих матеріальних витрат та прямих витрат на оплату праці становить 70 %, а інших прямих витрат та змінних загальновиробничих та постійних розподілених загальновиробничих витрат – 30 %. У витратах по рухомій операції на прямі матеріальні витрати та прямі витрати на оплату

праці доводиться 76 %, на інші прямі витрати й змінні загальновиробничі та постійні розподілені загальновиробничі витрати – 24 %.

Аналіз закордонного досвіду показав, що в західних країнах система визначення ставок за користування інфраструктурою залізничного транспорту досить складна й різноманітна. Наприклад, у Фінляндії застосовується змінна шкала, при якій оплата змінюється залежно від вантажообігу брутто, так і фіксований збір за обсяг перевезень. У Німеччині ставки розраховують виходячи з якості колії, комерційного значення маршруту й категорії поїзда з урахуванням частоти їхнього проходження й кількості виділених ниток графіка. У Норвегії довгострокові граничні витрати покриваються за рахунок внесків пропорційно виконаному вантажообігу. У Швеції застосовується три рівні оплати: постійна річна ставка за кожний локомотив і кожен одиницю рухомого складу; змінна частина оплати, обумовлена пропорційно вантажообігу брутто, й надбавка за диспетчерську роботу, енергію, паливо й маневрову (сортувальну) роботу. Таким чином, при розрахунку ставок за оплату інфраструктури враховуються різні фактори. При цьому частка оплати за користування інфраструктурою в загальній сумі витрат коливається від 10 до 50 %: у Фінляндії – 10 %, у Швеції – 15 %, у Данії – 20 %, у Великобританії – від 25 % (для вантажних компаній) до 50 % (для пасажирських компаній).

Економічне обґрунтування рівня плати за інфраструктуру вимагає додаткових досліджень по визначенню залежності умовно-постійних витрат інфраструктури від різних вимірників і показників роботи окремих галузевих господарств залізниць і вдосконалювання методів їхнього розрахунку.

Витрати при обґрунтуванні плати за користування інфраструктурою залізниць необхідно зв'язувати з вимірниками роботи рухомого складу, у цьому випадку число вимірників обмежується на відміну від системи вимірників для планування. Вимірники, прийняті для плати за користування, повинні відповідати наступним вимогам: відображати виконаний обсяг роботи під час перевезення; бути присутніми у статистичній звітності про роботу залізничного транспорту; бути доступними для розрахунку вантажовласниками й операторами-перевізниками.

На підставі виконаних розрахунків можна запропонувати, в якості вимірників для визначення рівня плати за користування інфраструктурою, наступні:

- тонно-кілометри брутто навантажених вагонів;
- поїздо-кілометри;
- вагоно-кілометри;

- кількість завантажених і вивантажених вагонів;
- кількість відправлених тонн;
- тонно-кілометри нетто.

Попередньо витрати галузевих господарств залізничного транспорту діляться по операціях перевізного процесу, причому витрати по переформуванню поїздів у шляху проходження ставляться на операцію пересування.

Для обґрунтування вибору вимірника роботи при розрахунку плат за використання інфраструктури застосовуються дані про зв'язок вимірників із витратами галузевих господарств залізничного транспорту.

Як критерій відбору вимірника використовується наявність логічного зв'язку й тіснота зв'язку даного вимірника з витратами галузевого господарства. У тих випадках, коли одна частина витрат галузевого господарства ставиться до змінних, а інша – до умовно-постійних, то для стягнення плат використовується вимірник, найбільш тісно пов'язаний зі змінними витратами. У випадках, коли всі витрати галузевого господарства є умовно-постійними, при виборі вимірника використовується логічний зв'язок.

Найбільш простим при розрахунку плат за використання інфраструктури є випадок перевезення вантажів маршрутними поїздами, що впливають без переформування від станції відправлення до станції призначення. Вимірники для розрахунку плат по витратах інфраструктури по окремих господарствах наведено в табл. 1.

У табл. 2 по господарству колії в частині початково-кінцевих операцій враховано витрати по формуванню поїзда на станції відправлення і його розформуванню на станції призначення.

При повагонних відправленнях склад вимірників трохи змінюється. Вимірники для розрахунку витрат інфраструктури з метою обґрунтування рівня плати по окремих господарствах у цьому випадку наведено в табл. 2. По господарству колії в частині операції пересування враховані витрати по переформуванню поїздів у шляху проходження.

Витрати на оплату послуг інфраструктури можуть бути оптимізовані в результаті рішення наступних питань:

- поділу залізничних ліній по категоріях залежно від параметрів інтенсивності їхнього завантаження й установлення відповідних диференційованих нормативів їхнього утримання;
- впровадження прогресивних технологій і сучасної техніки;
- підвищення ефективності використання об'єктів інфраструктури залізничного транспорту.

Таблиця 1

Вимірники для визначення рівня плат за використання інфраструктури галузевих господарств залізничного транспорту при перевезеннях вантажів маршрутними поїздами

Найменування господарства	Найменування вимірників по операціях перевізного процесу	
	початково-кінцеві операції	операція пересування
Вантажної й комерційної роботи	кількість завантажених і вивантажених вагонів	
Перевезень	-	поїздо-кілометри
Колії	кількість завантажених і вивантажених вагонів	поїздо-кілометри, тонно-кілометри брутто навантажених вагонів
Цивільних споруд		поїздо-кілометри
Сигналізації й зв'язку		поїздо-кілометри
Електропостачання	-	поїздо-кілометри

Таблиця 2

Вимірники для визначення рівня плат за використання інфраструктури галузевих господарств залізничного транспорту при повагонних перевезеннях вантажів

Найменування господарства	Найменування вимірників по операціях перевізного процесу	
	початково-кінцеві операції	операція пересування
Вантажної й комерційної роботи	кількість завантажених і вивантажених вагонів	
Перевезень	-	вагоно-кілометри
Колії	кількість завантажених і вивантажених вагонів	вагоно-кілометри, тонно-кілометри брутто навантажених вагонів
Цивільних споруд		вагоно-кілометри
Сигналізації й зв'язку		вагоно-кілометри
Електропостачання	-	вагоно-кілометри

Висновки

Методичним підходом до рішення проблеми економічного обґрунтування рівня плати за користування інфраструктурою залізниць є розподіл витрат інфраструктури по операціях перевізного процесу, установлення зв'язку їх по статтях змінних і умовно-постійних витрат з різними вимірниками й показниками роботи окремих галузевих господарств залізниць.

Перспективи подальших робіт у цьому напрямку

Виконаний розподіл витрат інфраструктури по операціях перевізного процесу може бути

використаний для тарифних цілей і для розрахунку плати за користування інфраструктурою.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Канторович, Л. В. Системный подход в методологии математики [Текст] / Л. В. Канторович, В. Е. Плиско // Системные исследования: Ежегодник. – М.: Наука, 1983. – С. 248.
2. Міщенко, М. І. Формування інфраструктури залізниць в умовах реструктуризації [Текст] / М. І. Міщенко // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури : зб. наук. пр. – Вип. 21. – К.: НАУ, 2009. – С. 265.

Надійшла до редколегії 23.11.2009.
Прийнята до друку 30.11.2009.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 31

(українською, російською та англійською мовами)

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

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерне верстання *В. В. Кузьменко*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Формат 60 × 84 ¹/₈. Ум.друк.арк. 35,11. Тираж 100 пр. Зам. № 290.

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

Адреса редакції, видавця та ділянки оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ-10, 49010, Україна

Тел.: +38 (0562) 33-58-96, факс: +38 (0562) 33-58-97

<http://www.diitrvv.dp.ua>

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003.

Для нотаток