

06
DSY

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 11

Дніпропетровськ
2006

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

В І С Н И К

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

Випуск 11

Дніпропетровськ
2006

Редакційна колегія:

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

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

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 29.05.2006, протокол № 9

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 11. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – 250 с.

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

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

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

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

ББК 39.2

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Л. Ф. ДОЛИНА, А. А. МИЩЕНКО (ДИИТ) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАСЛОСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД	7
В. В. БЕЛЯЕВА (ДИИТ) ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООВОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ПРОИЗВОДСТВЕ	14
И. В. КАЛАШНИКОВ (ДИИТ) ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ОБЛАСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ АЭРАЦИИ И В ПОДЗЕМНОМ ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ	19
В. М. ЛИСНЯК (ДИИТ) МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ТОКСИЧНОГО ОБЛАКА МИГРИРУЮЩЕГО В АТМОСФЕРЕ	24

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

В. В. ГОВОРУХА (ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины) ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ, ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ	29
А. А. КЕБИКОВ (БелГУТ, Беларусь) ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА РЕЛЬСОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ	40
И. П. КОРЖЕНЕВИЧ, Н. Г. РЕНГАЧ (ДИИТ), Н. А. ЛОШКАРЕВ (ПГАСА) ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР СЪЕМКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ	44
М. Б. КУРГАН, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ, В. В. АРСОНОВ (ДІТ) ОРГАНІЗАЦІЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РУХОМОГО СКЛАДУ З ПРИМУСОВИМ НАХИЛОМ КУЗОВА ВАГОНІВ	50
Ю. І. ОСЕНІН, В. П. ВОЙТЕНКО (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З АДАПТАЦІЄЮ ДО УМОВ НЕКОНТРОЛЬОВАНИХ АКУСТИЧНИХ ПЕРЕШКОД	60

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

И. А. ЕЛОВОЙ, М. М. КОЛОС (БелГУТ, Беларусь) ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»	63
В. Н. ЖУРАВЛЕВ (Запорожский национальный технический университет), И. В. ЖУКОВИЦКИЙ (ДИИТ) АНАЛИЗ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ФОНАЦИИ ПРИ ДЕМОДУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА	67
Г. В. КРИВЯКИН (НТУ«ХПИ») МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ОПОРНО-ОСЕВОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ НАДРЕССОРНОГО СТРОЕНИЯ	73
В. М. КУЛЕШОВ (УкрДАЗТ), Ю. В. ДОЦЕНКО (ДІТ) ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРВІСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦІ	80
О. В. ЛАВРУХІН (ДонІЗТ) РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	84
В. И. МОЙСЕЕНКО, В. В. РАДЧЕНКО (УкрГАЗТ) МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЕЗДНОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	87

РОЗДІЛ «РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

В. В. АРТЕМЧУК (ДПТ) РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ШАРУВАТИМИ ПОКРИТТЯМИ	92
Г. Г. БАСОВ, В. П. ГУНДАРЬ (ОАО ХК «Лугансктепловоз»), С. И. ЯЦКО (УкрГАЗТ), О. В. РОМАНЕНКО (ВНУ им. В. Даля) РАЗРАБОТКА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА, УЧЕТА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ	95
Л. В. БАЛОН, И. А. ЯИЦКОВ (Ростовський державний університет путей сообщения, Россия) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ЛОКОМОТИВОВ КОМАНДНОГО ТИПА	100
В. И. БОБРОВСКИЙ, Д. Н. КОЗАЧЕНКО (ДИИТ), Н. В. РОГОВ (Одесская ж. д.) АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ	103
Б. С. БОДНАР, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ (ДПТ) ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ПІВРЕЙСІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОГО ОБСЯГУ РОБОТИ МАНЕВРОВИМИ ЛОКОМОТИВАМИ НА ПАСАЖИРСЬКІЙ СТАНЦІЇ	112
Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ (БелГУТ, Беларусь) ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ – ФАКТИЧЕСКАЯ И ПО НОРМАТИВАМ	116
С. В. МЯМЛИН, Л. В. ДУБИНЕЦЬ, В. Т. ВИСЛОГУЗОВ, О. Г. ДУГАНОВ (ДПТ) ЕКСПЕРТИЗА ТЕХНІЧНИХ УМОВ – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП РОЗРОБКИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ДЛЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ	120
А. І. КУЗЬМЕНКО (Академія митної служби України) ПРИКОРДОННІ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНІ СТАНЦІЇ У ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ	122
М. И. КАПИЦА, В. В. ЛАГУТА (ДИИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПЕРИОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЭД	126
М. І. МАЛЬКОВ, О. М. ГАВРИШ, М. Ф. ФЕСЕНКО, В. В. СИТИК (В/Ч Т 0100), С. О. ЯКОВЛЄВ (ДПТ) БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО РОЗВИТКУ ПАРКУ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН	129
Ю. В. ПОПОВ (РГОТУПС, Россия) ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРА ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТЕПЛОВОЗА 2М62	134

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), В. М. БУБНОВ, Д. Т. ЛАВРЕНКО (ООО «ГСКБВ») ТЕНДЕНЦИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКЦИВНЫХ СХЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ	138
Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, Л. С. ОЛЬГАРД, А. В. ГРЕЧКО (УкрНИИВ) ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГОРОЧНОГО БАШМАКА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ	141
В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, С. В. БУРЫЛОВ, А. А. БУРЯК, В. Ю. СКОСАРЬ, Е. Л. ВЫДУТАЯ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»), Ю. И. СКОСАРЬ, Е. В. АНИКЕЕВ (ЗАО «ВЕСТА-Днепр») ФОРМИРОВАНИЕ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА	148
В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, Э. А. ЗЕЛЬДИНА, И. И. ФИНАГИНА (ИТСТ НАН Украины) О ВЛИЯНИИ РАЗДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ НА КОЛЕБАНИЯ ЭКИПАЖА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ	152

А. Н. ЗАЙЦЕВ, В. Э. ВОСКОБОЙНИК, С. В. КОМАРОВ, А. С. ВОРОШИЛОВ (ИТСТ НАН Украины «ТРАНСМАГ») ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИВОДА С ЛИНЕЙНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ.....	155
В. Н. СТАРЧЕНКО (ВНУ им. В. Даля) РАСЧЕТ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦИОННЫХ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	160
В. Ф. УШКАЛОВ, Т. Ф. МОКРИЙ, И. Ю. МАЛЫШЕВА, И. А. МАЩЕНКО, Д. И. ГРИЦЕНКО (ИТМ НАНУ и НКАУ) ВЛИЯНИЕ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУВАГОНОВ С ТЕЛЕЖКАМИ МОДЕЛИ 18-100 ЗАМЕНЫ СТАНДАРТНОГО ПРОФИЛЯ КОЛЕС ПРОФИЛЕМ ИТМ-73.....	167

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

В. П. АФАНАСЬЕВ, Г. И. СЕМЕНЕЦ (ДИИТ) НАДЕЖНОСТЬ ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКИ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА.....	171
Г. Д. БЕЛЯЕВ (ИТМ НАНУ И НКАУ) СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ	174
В. А. БУГАЕВ (ВНУ им. В. Даля), Д. В. ГОРИДЬКО (ПГАСА) ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	177
Д. В. ГРЕЦЬКИЙ (ЧДТУ) НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ БІОКОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЗАГЛИБЛЕНІ У СЛАБКІ ҐРУНТИ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ	181
Б. И. КЛОЧКО (ПГАСА) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА	185
А. Н. ПШИНЬКО, Д. В. РУДЕНКО, Ю. В. ПУНАГИНА (ДИИТ) БЕТОНЫ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ	189
А. В. РАДКЕВИЧ, В. Ф. ХУДЕНКО (ДИТ) ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РОЗПОДІЛУ ОБМЕЖЕНИХ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД	193
Н. Н. РУДЕНКО, В. В. ПУНАГИН, Н. И. БЕЛОШИЦКАЯ (ВНУ им. В. Даля), М. Х. СИДДИКОВ (Хорезмский педагогический институт) ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В АКТИВИРОВАННОЙ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЕ	198
Л. С. САВИН, Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО (ПГАСА) ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОБЕТОНА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛЕБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	201
К. І. СОЛДАТОВ, А. Г. КРЮК, В. І. БОРЦОВ, В. І. МАДАТОВ, Д. К. ЗАПОРОЖЕЦЬ (ДИТ) ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛЕВОГО АРОЧНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ РІКУ СТАРИЙ ДНІПРО У ЗАПОРІЖЖІ.....	204
В. П. ТАРАСЕНКО (ДИИТ) АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ГИБКИХ НИТЕЙ ПРИ ЗАГРУЖЕНИИ ИХ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ СИЛАМИ	214
В. А. МОМОТ (ДИИТ) АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	217

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ) ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСОВОЙ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ	220
---	-----

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

9. РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

В. О. ЗАДОЯ (ДІТ) ДО ПИТАННЯ АКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ	223
О. А. ШПАК (ДІТ) МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВАГОННОГО ПАРКУ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	230
Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДІТ) РІЗНОВИДИ КОМПАНІЙ-ОПЕРАТОРІВ З ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА	236
Л. А. ШИЛО, В. П. КОСТІВ (ДІТ) ДОСВІД МЕДИЧНОГО СТРАХУВАННЯ В ГАЛУЗЯХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	240
О. Г. ХАРЧУК (Київський університет економіки та технологій транспорту) ЗАРУБІЖНИЙ ТА ВІТЧИЗНЯНИЙ ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.....	245

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАСЛОСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Наведена технологія очистки оливковмісних вод та промислових стічних вод, які містять мастильно-охолодні рідини.

Представлена технология очистки маслосодержащих вод и промышленных сточных вод, которые содержат смазочно-охлаждающие жидкости.

A technology of cleaning oil-containing waste waters and industrial sewages which contain lubricating and cooling liquids is represented in the article.

Сточные воды, содержащие различные масла и смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), образуются на предприятиях машиностроения, металлообработки, металлургии, транспорта и даже сельского хозяйства.

В цехах горячей прокатки маслосодержащие сточные воды образуются от ряда производственных процессов, таких как охлаждение подшипников и валков прокатных станов; смыв и гидротранспорт окалины и др. [1]. Удельные количества загрязненных сточных вод колеблются в широких пределах от 2,5 (для крупносортовых станов) до 18 м³ (для мелкосортных и проволочных станов) на 1 т прокатываемого металла. Содержание масел в этих водах колеблется от 50 мг/л до 50 г/л.

При холодной прокатке металлов образуются 4...10 м³ маслосодержащих сточных вод на 1 т прокатываемого металла. В качестве технологических смазок применяют эмульсии или водяные растворы, называемые СОЖ. В их состав входят минеральные и растительные масла, а также другие вещества (поверхностно-активные вещества (ПАВ) и др.). Удельные расходы СОЖ зависят от выпускаемой продукции и составляют: 4...6 м³/т – для углеродистой стали; 8,5 м³/т – для жести и 15 м³/т – для трансформаторной стали.

СОЖ необходимо использовать многократно в замкнутой циркуляционной системе. В процессе прокатки СОЖ загрязняются мельчайшими механическими примесями, а также солями и кислотами, остающимися после травления. Кроме того, СОЖ нагревается на 10...15 °С. В эмульсиях содержание неэмульгированных масел допускается не более 200 мг/л.

На ремонтно-механических заводах или мастерских сильно загрязненные сточные воды образуются после мойки деталей [2], мойку

осуществляют в специальных моечных машинах, в которых используется холодная или горячая вода. Сточные воды загрязнены в основном взвешенными веществами ≥ 20 г/л, нефтепродуктами и маслами, концентрация которых может быть до и выше 10 г/л.

Суммарный расход производственных сточных вод шпалопропиточных заводов (ШПЗ) составляет 90...180 м³/сут [3]. Основным загрязнителем ШПЗ являются различные антисептики (каменноугольное и сланцевое масло, каменноугольная смола, креозот и др.) Со сточной водой уходит около 0,5 % общего расхода антисептиков, а концентрация их достигает 30...60 г/л, из которых до 25...50 г/л составляют осаждающиеся смолистые вещества, эмульгированные смолы, фенолы. Концентрация взвешенных веществ достигает 6,5 г/л.

На промывочно-пропарочных станциях (ППС) производится подготовка цистерн под нефть, нефтепродукты, различные масла. Промывка осуществляется водой или моющим раствором (с ПАВ) температурой 60...90 °С, иногда с предварительной пропаркой для разогрева и удаления остатка (в особенности после масел, битума и др.), промывке подвергаются около 50 % всех порожних цистерн. Максимальный расход воды на ППС достигает 200...300 м³/ч. Нефте-содержащих или эфирорастворимых веществ, в том числе и масел, может быть до 20...50 г/л.

СОЖ широко применяют при металлообработке в машиностроении. Существующие СОЖ биологически нестабильны, коррозионно-активны, либо токсичны и экологически опасны [4]. По этой причине они представляют собой источник экологической нагрузки предприятия. Увеличение объема применения СОЖ приводит к возрастающим платежам за сбросы и хранение токсичных веществ либо требует определенных мероприятий и затрат по предотвраще-

нию их попадания в объекты окружающей среды, в частности, строительство специализированных очистных сооружений, установок по детоксикации, утилизации и т. д.

В табл. 1 приведены СОЖ, применяемые в следующих типовых технологических процессах: точение, растачивания, отрезки, фрезерования, строгания, сверления, шлифования, нарезания резьбы, зенкерование и др. Средний срок использования СОЖ колеблется от двух недель до полутора месяцев. Основными причинами замены СОЖ при холодной обработке металлов являются наличие в них большого количества взвешенных веществ (металлическая стружка и пыль, сажа, частицы абразивных материалов), расслаивание СОЖ и их загнивание.

Регенерация отработанных СОЖ, заключающаяся в удалении из них посторонних примесей, позволяет возвращать их в производство, полу-

чая экономии минеральных и синтетических масел и других компонентов, входящих в состав эмульсолов. Однако регенерация отработанной СОЖ возможна только в том случае, если в 1 мл жидкости содержится менее 100 млн бактерий. В противном случае отработанная СОЖ подлежит сбросу на очистные сооружения. Эмульсолы – это эмульсии типа «вода в масле». Для придания эмульсии устойчивости необходимо добавление к ней еще одного компонента – эмульгатора, способного сорбироваться на поверхности обеих – несмешивающихся жидкостей. В большинстве составов СОЖ в качестве эмульгаторов используют различные ПАВ, которые с трудом извлекаются при очистке СОЖ и вод.

Отечественная промышленность выпускает большое количество эмульсолов различных марок, которые значительно отличаются по своему составу и физико-химическим свойствам (табл. 2).

Таблица 1

СОЖ, применяемые в типовых технологических процессах

Обрабатываемые материалы	СОЖ
Чугун Конструкционные углеродистые, легированные и коррозионно-стойкие стали	Укринол-1, Пептидол, Уверол, Карбом мол-Э1у, Аквэмус, ФМИ-6, Ризол, Эмульцид ЭТ-2, Эмульсол-Т, Резец, ЯЗ, НГЛ-205, ЭТГ, Аквол-10М, МР-7, СМР-1у, ОСМ-3, ЛЗ-СОЖ-2МНО
Цветные металлы (медь и сплавы меди)	Укринол-1, Укринол-1М, Уверол, Карбом мол-Э1у, Аквэмус, ФМИ-6, Ризол, Эмульцид ЭТ-2, Эмульсол-Т, Резец, ЯЗ, НГЛ-205, ЭТГ, Аквол-10М, МР-7, МР-2у, МР-9, СМР-1у, ОСМ-3, ЛЗ-СОЖ-2МНО, Тосол-ОНЗ, Синма-2, Аквол-2, Аквол-6, Авитол-1, Синтал-2, МХО-64а
Титан и его сплавы	РЗ-СОЖ-8, ФМИ-5, СДМУ-2, Азерол-1, МР-4

Таблица 2

Физико-химические показатели различных СОЖ

Показатели	Эмульсол Э-2	Укринол-1М (полусинтетическая СОЖ)	Аквол-10М (синтетическая СОЖ)	МР-5У (масляная СОЖ)
Плотность, г/дм ³ :				
концентрат	1105	960,00	1 100,00	860...960
20 %-й раствор	1020	990,00	1 010,00	–
Вязкость, 10 ⁻⁶ м ³ /с, при 50 °С:				
концентрат	40...50	35,00	12,00	35
20 %-й раствор	1,5	1,60	1,20	–
Щелочная емкость (концентрат), 2-экв/2	0,4	0,17	0,46	1,2
Коррозионная агрессивность по отношению к металлам, ГОСТ 6243-75	соответствует			
концентрат				
20 %-й раствор				
Моющая способность ед. ГЛБ ПАВ (концентрат)	6	8,00	14,00	–

В зависимости от типа содержащихся в них эмульгаторов все СОЖ на основе минеральных масел разделяются на три группы:

- СОЖ, содержащие ионогенные эмульгаторы;
- СОЖ, содержащие неионогенные эмульгаторы;
- СОЖ, содержащие одновременно ионо- и неионогенные эмульгаторы.

В качестве эмульгаторов СОЖ используют соли органических кислот (олеиновой, нефтяной, сульфонафтяной), в качестве стабилизаторов – этиловый спирт, этиленгликоль, триэтаноламин и др.

Таким образом, существующие СОЖ токсичны (второго или третьего класса опасности – опасные или умеренно опасные вещества). Они

содержат компоненты, загрязняющие окружающую среду: нефтепродукты, масла, эфирноизвлекаемые вещества, ПАВ, жирные кислоты и др. В табл. 3 представлена структура затрат на сброс в сточные воды компонентов СОЖ [4]. Считается [4], что при промывке 20 л воды 1 м² поверхности изготовленных деталей унос составляет 1 м³ (1 л) СОЖ.

Сброс вредных веществ в сточные воды сверх предельно допустимой концентрации (ПДК) несет за собой штрафные санкции для предприятия. Для достижения ПДК стоки должны быть разбавлены водой:

- масляные СОЖ – 249,98 м³;
- синтетические СОЖ – 39,98 м³;
- полусинтетические СОЖ – 253,4805 м³ на 1 м² поверхности изготовленных деталей.

Таблица 3

Структура платы за сброс в сточные воды от промывки 1 м² поверхности изготовленных деталей при превышении ПДК

Компоненты	Содержание вредных компонентов, %, по видам СОЖ		
	Масляные	Синтетические	Полусинтетические
Нефтепродукты	100	–	93
Эфирноизвлекаемые вещества	0,001...0,0025	0,001...0,0025	0,001...0,0025
СПАВ ионогенные	–	10	5
Жирные кислоты	–	–	2
Плата за сброс, расчеты в ценах 2000 г., руб/кг:			
свыше ПДК	0,312502	0,003152	0,29222
равное ПДК	0,0625004	0,0006304	0,058444

При варианте очистки сточных вод от вредных компонентов СОЖ затраты на промывку составляет 0,69 руб. на 1 м² изготовленных деталей [4]. Расходы на экологические платежи значительно превышают расходы на содержание очистных сооружений.

В последнее время в Москве [5] неуклонно растет объем продаж некачественных (фальсифицированных) автомобильных масел. По данным Московской транспортной инспекции, до 35 % поставляемых на рынок Москвы автомобильных масел не имеют сертификатов качества, не соответствуют требованиям ГОСТов и содержит в своем составе экологически опасные соединения. Объем поступающих в продажу фальсифицированных масел напрямую связан с оборотом товарных масел. Согласно экспертным оценкам в Москве ежегодно реализуют 60...70 тыс. т автомобильных масел, из которых образуется около 50 тыс. т обрабо-

танных масел (ОМ). При этом, по официальным данным, из них легально собирается не более 5...6 тыс. т. Тем самым складывается ситуация, которая объективно способствует нелегальному сбору ОМ для производства фальсифицированной продукции отработанные масла скупаются у предприятий – сдатчиков фирмами, нелегально действующими на рынке отработанных нефтепродуктов. Аналогичная картина с ОМ происходит в Украине. Собранные такими фирмами ОМ либо сжигаются без очистки, загрязняя окружающую среду, либо вывозятся за город или перерабатываются на полкустарных установках с использованием технологий не прошедших экологическую экспертизу.

Отработанное масло, представляющее собой неразделимую смесь отработанных моторных, промышленных масел различных марок и других нефтепродуктов, подвергают механической (грубой) очистке от воды и различных нерас-

творимых примесей. В масле остаются различные химические продукты распада присадок и различные реагенты. Далее масло осветляют с применением неорганических кислот, щелочей и других экологически опасных реагентов. Приготовленное таким методом «масло» расфасовывается на фирменных тароформовочных машинах в «фирменную» тару и через рынки, не требующие сертификата качества продукции, поступает потребителям.

Участники рынка нефтепродуктов [6] не платят налоги, не соблюдают каких-либо правовых норм и игнорируют требования экологической безопасности. В то же время доля ОМ на вторичном рынке нефтепродуктов составляет около 60 % общего объема образующихся нефтепродуктов.

Сельскохозяйственная и автотранспортная техника в агропромышленном комплексе (АПК) работает в сложных условиях, которые ухудшают эксплуатационные характеристики машин. Установлено, что своевременная очистка и профилактика техники на 30 % увеличивает моторесурс машин и механизмов [7]. Очистка техники в период ее эксплуатации и при подготовке к ремонту с применением воды или моющих средств приводит к образованию различных по характеру загрязнений сточных вод. Для предприятий АПК решение вопроса очистки сточных вод и создание оборотных систем водоснабжения имеет большое значение, так как они располагаются в зонах активного землепользования и животноводства, а имеющиеся на их территориях водоемы в большинстве случаев имеют рыбохозяйственное значение. Несмотря на это, большинство предприятий АПК до настоящего времени являются источниками загрязнения окружающей среды.

Источниками образования сточных вод в АПК являются: внешняя мойка техники, мойка двигателей и деталей перед ремонтом, участки промывки аккумуляторов и радиаторов, окрасочные камеры, прачечные (стирка спецодежды).

Наибольший расход сточных вод от наружной мойки техники составляет до 10 м³/ч, режим потребления воды неравномерный. Основные загрязняющие вещества: взвешенные вещества – 0,3...20 г/л; нефтепродукты – 0,03...0,7 г/л.

Для промывки аккумуляторных батарей используется вода питьевого качества, 10...20 л на один аккумулятор, в зависимости от его емкости. Общий расход воды на этих участках не превышает 2 м³/сут. Сточные воды имеют показатель рН – 3–4 и загрязнены веществами, быстро выпадающими в осадок.

При ремонте радиаторов их корпус механически очищается от загрязняющих веществ и промывается растворами кальцинированной соды. Расход раствора на один радиатор составляет 10...15 л. Загрязнения в сточных водах – соли кальция, взвешенные вещества 0,3...1 г/л, рН – 12–14. Общий расход в сутки не превышает 2 м³.

Ввиду периодической окраски техники постоянного расхода сточных вод от этих участков не наблюдается.

Стирка спецодежды осуществляется водой питьевого качества, расход 2...4 м³/сут. Загрязняющие вещества: моющие средства, ПАВ, сода, нефтепродукты, масла, взвешенные вещества, рН – 7–10.

Мойка двигателей и деталей перед ремонтом осуществляют в специальных погружных или струйных моющих машинах. Моющие растворы используются многократно, до полного насыщения загрязнениями и потери активности. Процесс мойки происходит при температуре раствора 75...85 °С. Для мойки применяются простые и многокомпонентные водные растворы, в состав которых входят: едкий натр (0...15 %), кальцинированная сода (0...8 %), тринатрийфосфат (0...8 %), силикат натрия (0...1 %), хромпик (0...0,5 %), нитрит натрия (0...0,5 %). Улучшение моющих свойств достигается введением в них небольших доз (2...6 г/л) ПАВ, что, однако, способствует эмульгированию и диспергированию загрязнений, в том числе и масел. Моющие средства могут накапливать в себе до 15...20 г/л дионергированных и трудновыделяемых в осадок частиц и до 7 г/л масел и нефтепродуктов, остаточное содержание которых после суточного отстаивания составляет 500...600 мг/л.

Применяют также синтетические моющие средства (СМС), основу которых составляют ПАВ с добавлением щелочных электролитов: МС-6, МС-8, лабомид-101 и др. Использование ПАВ и СМС способствует диспергированию масел и нефтепродуктов в сточных водах, вызывает дополнительные трудности в очистке таких маслосодержащих вод. Частая полная замена моющих растворов приводит не только к их перерасходу, но и к увеличению сбросов в канализацию или водоемы. Сброс растворов или сточных вод, содержащих ПАВ строго регламентирован [8; 9], поэтому перед сбросом такие воды должны подвергаться очистке.

Изучение кинетики отстаивания образующихся сточных вод АПК показывает, что они имеют сходные характеристики, нейтральную среду, загрязнены взвесью и маслом. Это позволяет отнести их к однотипным и очищать на единой очистной установке, что немаловажно

в технологическом, экономическом и экологических отношениях.

Учитывая, что объемы кислотных и щелочных сточных вод на предприятиях АПК примерно равны, рекомендовать их взаимную нейтрализацию и после предварительного отстаивания направлять в систему очистных сооружений наружной мойки автомашин и сельхозтехники. Осадки, содержащие соли свинца, обезвреживаются и направляются на переработку, например, на аккумуляторный завод «Иста» (г. Днепрпетровск).

Нами разработана технология и схема (рис. 1) по очистке маслосодержащих сточных вод, исходя из начальной концентрации масел в воде порядка $K_M = 10\,000$ мг/л. Технология основана на многостадийной очистке с выделением механических примесей, масел и растворенных органических соединений. На стадии механической очистки происходит усреднение стока, выделение крупнодисперсных масляных частиц и оседание грубодисперсных примесей (содержание масел после механической очистки $K_M = 300$ мг/л).

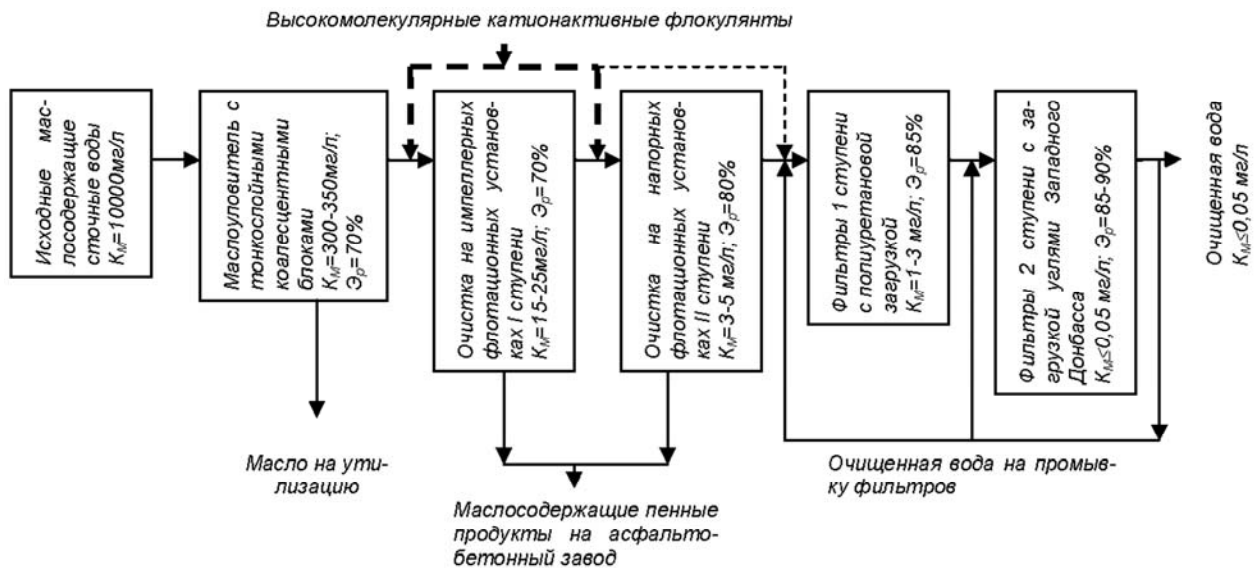


Рис. 1. Технологическая схема очистки маслосодержащих производственных сточных вод

Загрязненная маслами вода поступает в коалесцентный тонкослойный блок, поднимающиеся капли масла собираются на специальных пластинах, притягивающих масла к себе. Там объем масла растет, вследствие чего увеличиваются скорости подъема капель на поверхность сквозь отверстия в пластинах. В результате на поверхности установки образуется монолитный слой масла. Если эффективность работы обычных нефтеуловителей достигает не более 50...60 %, то наличие специальных пластин позволяет увеличить их эффективность до $\mathcal{E}_p = 70$ %.

Флотация с механическим диспергированием воздуха более эффективна для нагретых маслосодержащих вод, так как напорная флотация в этом случае будет неработоспособной.

В импеллерных установках в пену переходят тяжелые масла и смолы, имеющие плотность более 1 г/см^3 , которые обычно выпадают в осадок и затрудняют эксплуатацию очистных сооружений.

Для обеспечения стабильной работы флотомашине необходимо равномерно подавать сточные воды во времени. На практике наблю-

дается неравномерность их подачи из-за залповых и аварийных сбросов масел в цехах, что приводит к пиковым нагрузкам на всю цепочку очистных сооружений. Вследствие этого наблюдаются сбои в работе флотационных машин. Поэтому в маслоуловителях с тонкослойными блоками предусмотрено специальное устройство, позволяющее усреднять стоки и равномерно их подавать на флотационные установки.

Для повышения эффективности флотации масел, взамен добавок коагулянтов – сульфата алюминия и глинозема, нами предлагаются катионоактивные высокомолекулярные флокулянты.

При флотации с коагулянтами, при существующих схемах работы флотомашин, подача их ведется с перерывами по ряду причин, в том числе из-за процесса кристаллизации сульфата алюминия и, как следствие, частичного или полного закупоривания подводных коммуникаций к флотомашине.

По своим флокулирующим свойствам – катионоактивные реагенты более активные, чем коагулянты, а в процессе эксплуатации они не вызывают образование отложений в трубопроводах.

В качестве доочистной операции для извлечения мелкодисперсных масел и органических примесей применяем вторую стадию флотации – напорную. Она имеет более высокий эффект очистки ($\mathcal{E}_p = 80 \%$) для указанных загрязнений, но более чувствительна к перегрузкам, неравномерности подачи реагентов и пр.

Глубокая доочистка от масел, оставшихся после флотации, достигается на фильтрах 1-й ступени с полиуретановой загрузкой (остаток масел после них 1...3 мг/л). Воды перед фильтрами обрабатываются катионактивными флокулянтами.

Ужесточение в последнее время нормативов по остаточной концентрации масел (нефтепродуктов) не позволяет ограничиться флотацией как последней стадией очистки. Требуемые остаточные концентрации по маслам и взвешенным веществам зависят от ряда факторов регионального характера, которые устанавливаются органами местного надзора. Однако в первую очередь эти концентрации определяют местом сброса очистных сточных вод [8; 9].

Если стоки сбрасываются в городские очистные сооружения, концентрация масел (нефтепродуктов) может допускаться от 0,3 мг/л и выше. Если же сброс осуществляется в открытые водоемы, эта величина составляет лишь 0,05 мг/л, что соответствует величине ПДК для открытых водоемов.

Поэтому нами была изыскана еще одна стадия физико-химической очистки, которая обеспечивала не только требуемую ее глубину, но и достаточные простоту и дешевизну. Такой стадией могла бы стать очистка стоков методом адсорбции на напорных фильтрах-адсорберах. В качестве загрузки этих фильтров применяют угли Западного Донбасса или золу котельных этих углей. Проведенные нами исследования показали высокие адсорбционные свойства углей и золы по отношению к различным маслам.

Замасленную загрузку фильтров 2-й ступени можно использовать в качестве добавки (до 10 %) при изготовлении асфальтобетонной смеси для строительства автомобильных дорог. Это подтверждается исследованиями, проведенными институтом «Гипродор» (Днепропетровское отделение). Пенный продукт флотации также может быть использован в качестве добавки при изготовлении асфальтобетонной смеси.

Нами разработана технология и схема (рис. 2) по обработке СОЖ. Процесс очистки маслоэмульсионных сточных вод складывается из следующих технологических операций: сбор, усреднение, отстаивание, подкисление, электрохимическая обработка в реакторе, очистка во флотаторе-отстойнике, сбор извлеченных масляных продуктов.

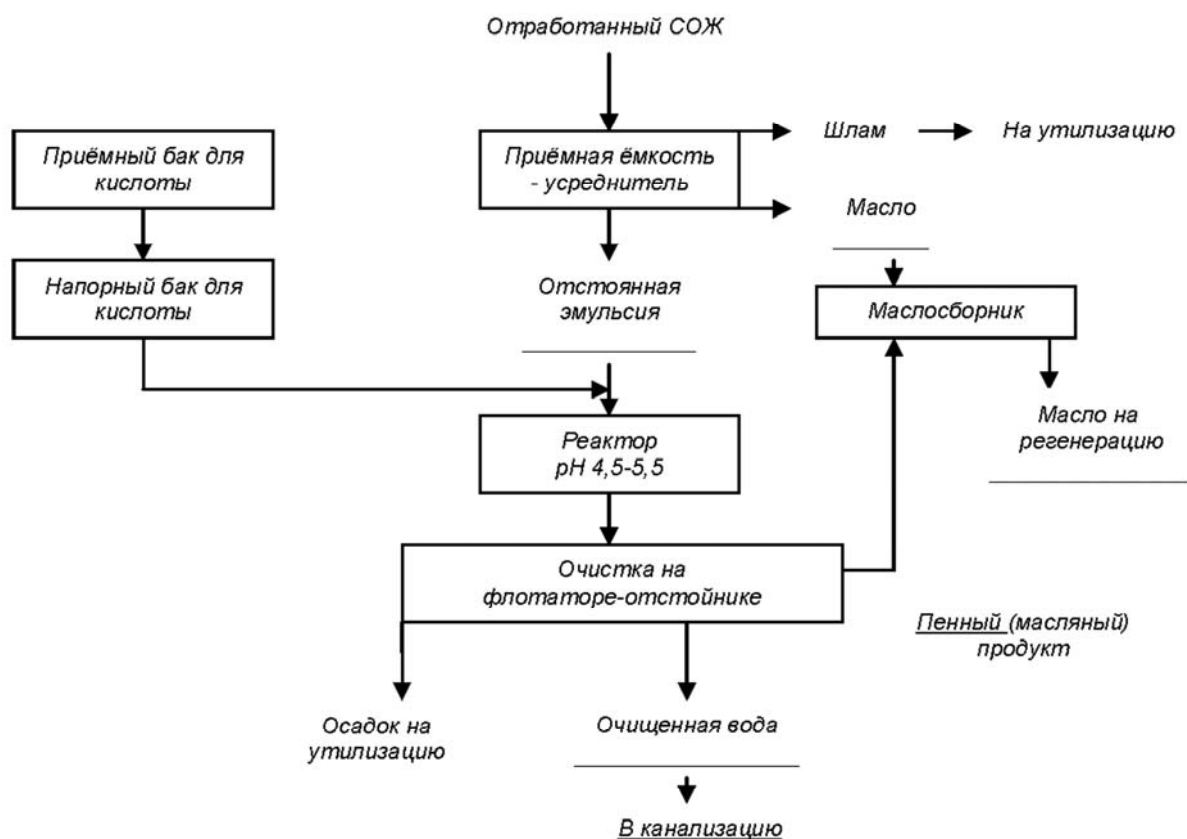


Рис. 2. Технологическая схема обработки смазочно-охлаждающих жидкостей

При электрокоагуляционной обработке отработанная эмульсия разрушается, причем масла, сорбированные коагулянтом, флотируются в виде пенного слоя, который удаляется.

Электрохимическая коагуляция осуществляется в реакторе-барабане, где осуществляется контакт сточных вод одновременно с алюминиевой и стальной стружкой (скрапом) без использования внешнего источника электричества. При отсутствии меди, вместо медной стружки можно использовать графит с размером зерна 10...20 мм. Эффективность технологического процесса на уровне 95...98 %.

Реактор-коагулятор работает следующим образом. Через загрузочную горловину внутрь подается смесь железного, медного и алюминиевого скрапа в весовом соотношении 2,5:1:1, либо смеси железного скрапа с графитом в том же соотношении. Сточная вода и кислота непрерывно попадают через загрузочную горловину в рабочую зону реактора. Принцип действия реактора заключается в том, что смесь железного, медного и алюминиевого скрапа или железного скрапа и графита представляют собой гальваническую пару, в результате работы которой идет интенсивное растворение железа без подачи электроэнергии.

При вращении корпуса барабана-реактора, скрап поднимается зубьями-ворошителями над поверхностями сточной воды, что создает условия для контакта жидкой, твердой и газообразных фаз в пленочном слое жидкости, удерживаемой скрапом. Далее, при свободном падении скрапа, контакт гальванических пар алюминий-железо, медь-железо или графит-железо изменяется, указанное обстоятельство создает необходимость условия для быстрого окисления в жидкой фазе – двухвалентного железа до трехвалентного. Образование тонкого дисперсного ферритного осадка происходит непосредственно в очищаемой среде, из которой удаляются соответствующие загрязнения. Оптимальное время обработки в барабане – 20 мин. Эффект увеличивается при предварительном нагреве сточных вод до 40...60 °С.

После коагуляции сточные воды направляются в флотатор-отстойник, где осаждаются мелкие частицы, в том числе и скрапа.

Догрузка новых порций железного скрапа производится периодически один – два раза в смену без остановки реактора, а медный, алюминиевый или графитный догружаются только при нарушении технологического режима работы реактора, что выражается в уменьшении выхода осадка ввиду изменения условий работы гальванических пар используемых элементов.

Осадки, образовавшиеся в процессе электрохимического разрушения, могут быть использованы для смазки форм при производстве железобетонных изделий либо в качестве топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долина Л. Ф. Сточные воды предприятий черной металлургии и способы их очистки. Справочное пособие. Д.: Amsterdam.; MILIEUKONTAKT OOST – EUROPA, 1998. – 44 с.
2. Долина Л. Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки. Справочное пособие. – Д.: УЭА «Зелений світ», 2000. – 45 с.
3. Долина Л. Ф. Способы очистки сточных вод предприятий железнодорожного транспорта Украины // Залізничний транспорт України – 2000. – № 4. – С. 14–16.
4. Смазочно-охлаждающие жидкости нового поколения. Киселев И.В. и др. // Экология и промышленность России, апрель 2001 г., – С. 6–8.
5. Андреев В. Г. Основные направления создания рынка отработанных масел / В. Г. Андреев, Г. П. Толмачев // Экология и промышленность России, ноябрь 2002 г., – С. 23–27.
6. Пиковская Е. В. Регенерация отработанных масел в США / Е. В. Пиковская, С. А. Сурин // Мир нефтепродуктов. – 2000. – Вып. 4.
7. Краснова Н. Н. Рекомендации по применению моющих средств для очистки машин и деталей при ремонте / Н. Н. Краснова, А. П. Садовский, А. Ф. Тельнов. – М., ГОСНИТИ, 1984. – 86 с.
8. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України. Введені в дію з 6 травня 2002 року.
9. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Від 25.03.1999 № 465 КМ України.

Поступила в редколлегию 18.11.2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООВОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Запропоновано методи розрахунку вентиляції приміщень у випадку аварійного викиду хімічних забруднювачів, а також після горіння вогняної кулі. Методи базуються на чисельному інтегруванні тривимірного рівняння енергії та двувимірного рівняння міграції домішки у повітрі. Поле швидкості повітря розраховується на базі чисельного інтегрування тривимірного рівняння потенційного руху та двувимірної моделі відірваних течій. Наводяться результати чисельного експерименту.

Предложены методы расчета вентиляции помещений в случае аварийного выброса химических загрязнений, а также после горения огненного шара. Методы основаны на численном интегрировании трехмерного уравнения энергии и двухмерного уравнения переноса примеси в воздушной среде. Поле скорости воздушного потока рассчитывается путем численного интегрирования трехмерного уравнения потенциального течения и двухмерной модели отрывных течений невязкой жидкости. Приводятся результаты численного эксперимента.

Some methods of calculating ventilation after indoor emergency discharge of chemical impurities or fire ball burning have been developed. The methods are based on numerical integration of 3D equation of energy and 2D equation of admixture transfer in the air. Velocity field is calculated using 3D model of potential flow and 2D model of inviscid separated flows. The results of numerical experiments are presented.

Задачи, связанные с аварийными ситуациями внутри производственных помещений привлекают к себе повышенное внимание, поскольку при таких авариях весьма высока вероятность поражения рабочего персонала как в помещении, где произошла авария, так и в соседних помещениях или на промплощадках.

Среди задач данного класса можно выделить задачи, относящиеся к загрязнению воздушной среды в помещениях при аварийных выбросах химических веществ, нередко токсичных. Ко второму классу задач можно отнести задачи, связанные с выбросом или разливом ряда химических веществ (например, углеводородов), при котором образуется облако газа паровоздушной смеси (ГПВС). Если это облако переобогащено топливом, то происходит горение его с образованием огненного шара [1]. В этом случае будет происходить термическое воздействие на обслуживающий персонал, оборудование, элементы конструкции цеха и т. п. Таким образом, второй класс задач можно назвать задачами теплового загрязнения воздушной среды внутри производственных помещений, вызванного аварийными ситуациями.

Анализ литературных источников показал, что выбор параметров вентиляции при аварийном выбросе химических веществ в воздушную среду помещения осуществляется по рекомендациям СНИПа, в основу которых положено,

как правило, результаты расчетов на базе одномерных моделей переноса загрязняющих веществ [6]. Изменение теплового состояния воздушной среды в случае вентиляции производственных помещений после горения углеводородов с образованием огненного шара или без него в литературе практически не рассматривалась. Рассматривались лишь вопросы расчета нагрузок в помещении в случае аварийных ситуаций, связанных с горением и образованием ударной волны или термического поражения при излучении [1].

Важным вопросом является исследование влияния воздухообмена на снижение химического и теплового загрязнения в производственном помещении в случае аварийных ситуаций. Это приобретает в настоящее время особую актуальность в связи со значительным износом технологического оборудования на многих производствах. Необходимо отметить, что на производстве для снижения концентрации химических веществ в воздухе применяются сорбенты. Однако представляет практический интерес изучение эффективности использования сорбирующих материалов в случае аварийных ситуаций.

Целью настоящей работы является создание численных моделей и разработка на их основе методов расчета химического и теплового загрязнения воздушной среды в производственных помещениях при аварийных ситуациях и

позволяющих в режиме реального времени провести исследование химического и теплового загрязнения с учетом следующих особенностей:

- влияние технологического оборудования, расположенного в помещении, на процесс загрязнения;

- влияние интенсивности воздухообмена, положения приточно-вытяжных отверстий на динамику снижения уровня загрязнения в помещении;

- влияние сорбирующих материалов на снижение загазованности помещения при аварийных ситуациях.

Рассмотрим помещение, имеющее размеры R_x, R_y, R_z . На стенах помещения или на полу (потолке) имеются отверстия приточно-вытяжной вентиляции (рис. 1).

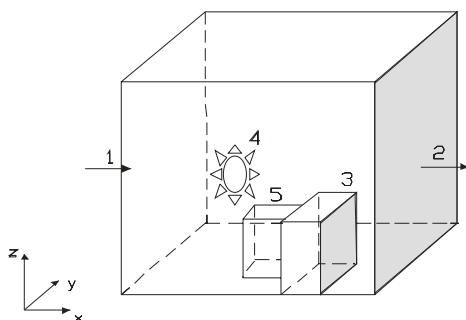


Рис. 1. Схема расчетной области:

1 – приточное отверстие вентиляции; 2 – вытяжное отверстие вентиляции; 3 – технологическое оборудование; 4 – тепловой шар; 5 – положение рецептора (панель управления на технологическом оборудовании)

В помещении может располагаться технологическое оборудование, оказывающее влияние на деформацию поля скорости воздушного потока при работе вентиляции (см. рис. 1). При исследовании теплового загрязнения воздушной среды в помещении будем считать, что на месте аварии произошло быстрое горение углеводородов (или других веществ), в результате которого в помещении образовалась подзона с высокой температурой T_a – огненный шар.

В данной работе принимается, что шар имеет характерный диаметр D в момент времени $t = 0$. Далее рассматривается миграция этой подзоны в помещении при воздействии воздушного потока, индуцированного работой вентиляции.

Для моделирования теплового загрязнения воздушной среды внутри помещения будем использовать уравнение энергии

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где T – температура; a – коэффициент теплопроводности; u, v, w – компоненты скорости воздушной среды в помещении.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [4].

Для расчета поля скорости воздушного потока в помещении, индуцированного работой вентиляции, делается допущение, что движение воздушной среды в помещении – потенциальное, тогда компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями:

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

где P – потенциал.

Уравнение для определения потенциала

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

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работе [4].

Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия:

- на твердых стенках

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

где n – единичный вектор внешней нормали;

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

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

где V_n – известное значение скорости;

- на выходной границе (условия Дирихле)

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

Кроме моделирования теплового загрязнения воздушной среды в производственном помещении будем рассматривать химическое загрязнение воздушной среды, вызванное аварийным выбросом в производстве. Для описания химического загрязнения воздушной среды будем использовать двухмерную модель для расчета миграции загрязняющего вещества в производственном помещении. Для решения этой задачи используется уравнение градиентного типа, усредненное по ширине помещения [5]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \quad (3)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества в помещении; u, v – компоненты вектора скорости воздушной среды в помещении; μ_x, μ_y – коэффициенты турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса токсичного вещества в помещении при аварии; $\delta(r-r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i)$ – координаты источника выброса.

Для расчета поля скорости воздушного потока в помещении будем использовать модель отрывных течений невязкой несжимаемой жидкости [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} &= -\omega; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad \omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y},$$

где ω – завихренность, ψ – функция тока; u, v – компоненты вектора скорости воздушного потока в помещении. При применении данной модели делается допущение, что отрыв потока происходит в угловых точках. Интенсивность вихря в угловой точке и рассчитывается по методике, рассмотренной в работе [3]. Постановка краевых условий для уравнений (4) рассматривается в работе [3].

Для численного интегрирования уравнений (1), (3) и уравнения переноса завихренности используются попеременно-треугольные неявные разностные схемы [3]. Каждое разностное уравнение представляет собой запись балансового соотношения для контрольного объема (разностной ячейки). Расчет неизвестного значения определяется на каждом шаге расщепления по явной формуле бегущего счета.

Для численного интегрирования уравнения для потенциала скорости и уравнения Пуассона для функций тока используется идея «установления решения по времени». Так уравнение потенциала приобретает вид

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

где η – фиктивное время.

Численное интегрирование данного уравнения и уравнения Пуассона проводится с использованием попеременно-треугольного метода А. А. Самарского [6].

На базе разработанной численной модели создан пакет прикладных программ «ROOM-

INVIS-2D» (расчет переноса примеси на базе двухмерной модели отрывных течений невязкой жидкости) и пакет прикладных программ «HEAT-3D» (расчет теплового загрязнения помещения на базе трехмерной модели (1), (2)). Все пакеты программ реализованы на алгоритмическом языке FORTRAN-IV. Рассмотрим практическое использование каждого пакета на примере решения двух прикладных задач.

Задача 1. В производственном помещении, имеющем размеры $12 \times 12 \times 6$ м, установлено технологическое оборудование (рис. 1). В результате аварии произошел разлив и горение пропана. На месте аварии образовался огненный шар, имеющий в диаметре 3 м и температуру $1\,000$ °С. Температура воздуха в помещении до аварии составляла 20 °С. В помещение поступает воздух (расход 2 м³/с) с температурой 10 °С. Ставится задача исследования температурного загрязнения воздушной среды в помещении после аварии.

Результаты решения задачи представлены на рис. 2–4, где показаны изотермы для различных моментов времени, позволяющие выявить динамику процесса миграции огненного шара в помещении после аварии. Хорошо видно как происходит деформация формирующейся зоны теплового загрязнения возле технологического оборудования.

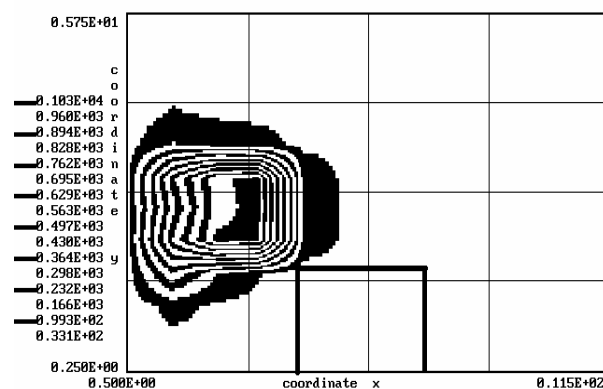


Рис. 2. Распределение изотерм в помещении через $t = 1$ с после аварии

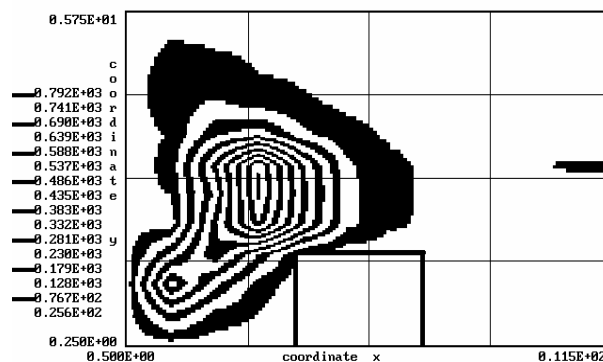


Рис. 3. Распределение изотерм в помещении через $t = 7$ с после аварии

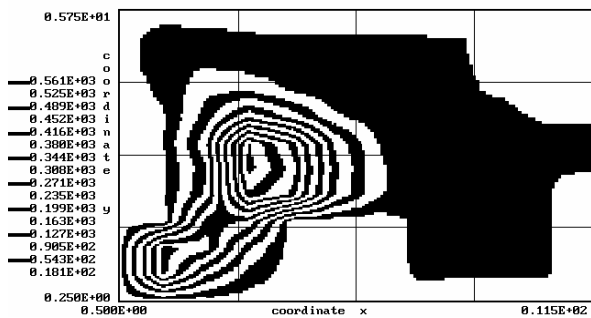


Рис. 4. Распределение изотерм в помещении через $t = 13$ с после аварии

В табл. 1 представлены значения температуры возле панели управления оборудованием (позиция 5 см. рис. 1). Видно, что происходит достаточно быстрое нагревание воздуха в этом месте после аварии. Если считать, что болевой порог для человека при термическом воздействии начинается примерно с 40°C , то очевидно, что рабочий персонал, находящийся в этом месте достаточно быстро получит серьезные ожоги. Безусловно, такое высокое значение температуры может привести к выходу из строя технологического оборудования, на которое происходит «натекание» нагретого воздуха.

Таблица 1

Расчетные значения температуры воздуха на месте расположения персонала возле оборудования

Время после аварии, с	Температура, $^\circ\text{C}$
5	283
7	371
9	453
11	520
13	569

Задача 2. Рассматривается помещение, размером: длина – 15 м, высота – 15 м, ширина – 10 м. В помещении располагается технологическое оборудование, вызывающее деформации поля скорости воздушного потока при вентиляции помещения (рис. 5). Исследуется процесс загрязнения помещения при аварийном выбросе аммиака в двух местах, показанных на рис. 5. Исходные параметры выбраны так: выброс осуществляется в течение 10 с, интенсивность выброса каждого источника – 10 г/с, коэффициент диффузии равен $0,7 \text{ м}^2/\text{с}$, подача воздуха в помещение осуществляется через два отверстия (одно в верхней части помещения, а другое – в нижней, расход через отверстие составляет $40 \text{ м}^3/\text{с}$). На потолке помещения располагается материал, сорбирующий токсичное ве-

щество, длина этого участка составляет 11 м, на поверхности оборудования также расположена сорбирующая поверхность длиной 2,5 м (рис. 5).

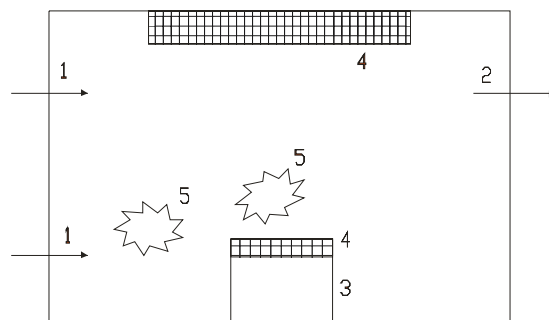


Рис. 5. Схема расчетной области в задаче о сорбции загрязнителя в помещении:

- 1 – приточное отверстие вентиляции;
- 2 – вытяжное отверстие вентиляции;
- 3 – технологическое оборудование;
- 4 – сорбирующая поверхность;
- 5 – источник выброса загрязнителя

Требуется оценить эффективность сорбции токсичного вещества. Расчет выполняется с помощью разработанной выше двумерной модели и пакета программ «ROOM-INVIS-2D».

На рис. 6, 7 показаны изолинии концентрации аммиака в помещении после аварии для двух моментов времени. Хорошо видны два «ядра» повышенной концентрации аммиака, образовавшиеся на месте аварийного выброса, заметно вытягивание зоны загрязнения в направлении вытяжного отверстия. Однако хорошо видно из рис. 7, что возле оборудования и стен помещения образуются плохо проветриваемые застойные зоны.

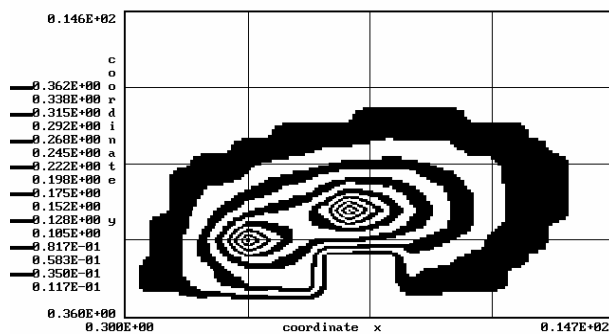


Рис. 6. Распределение концентрации загрязнителя в помещении для момента времени $t = 3$ с

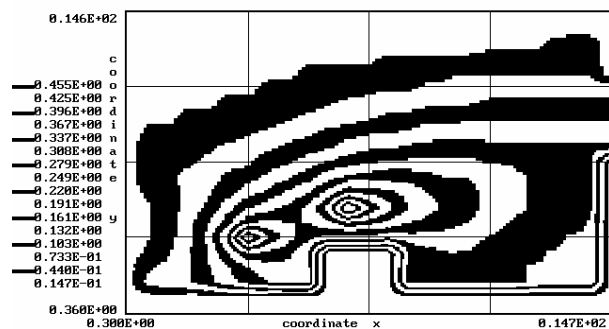


Рис. 7. Распределение концентрации загрязнителя в помещении для момента времени $t = 10$ с

В табл. 2 представлены расчетные значения массы аммиака, которая адсорбировалась на месте расположения сорбирующей поверхности (см. рис. 5). Отметим, что на данной поверхности ставилось граничное условие $C = 0$, т. е. в модели реализовывалось физическое условие полного поглощения. Это значит, что представленные результаты показывают «по максимуму» возможности сорбента.

Таблица 2

Зависимость массы адсорбированного загрязнителя от времени	
<i>t</i> , с	Масса адсорбированного загрязнителя, г
8	22,00
16	57,00
24	72,00
48	81,00
55	82,40
71	82,83
79	82,89

Выводы

В работе построены компьютерные модели и на их основе разработаны эффективные методы расчета теплового и химического загрязнения производственных помещений при техногенных авариях.

Модели и методы расчета основаны на неявном разностном алгоритме решения трехмерных уравнений потенциального течения и энер-

гии, а также на численном решении двухмерных уравнений миграции примеси в воздушной среде и отрывных течений невязкой жидкости.

Разработанные методы расчета позволяют учитывать в численной модели любое расположение и форму технологического оборудования, положения приточно-вытяжных отверстий.

Дальнейшее совершенствование моделей следует проводить в направлении их развития для моделирования горения и переноса пыли в производственных помещениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие. В 5-ти книгах / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаяева. – М.: Из-во АСВ, 2001 – 200 с.
2. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. – М.: Изд-во министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1962. – 254 с.
3. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. дум.– 1997.– 368 с.
4. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Ф. Крейт, У. Блэк. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
5. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
6. Самарский А. А. Теория разностных схем. 2-е изд., испр. – М.: Наука. – 1983. – 616 с.
7. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. 3-е изд., перераб. – М.: Химия. – 1980. – 288 с.

Поступила в редколлегию 14.10.2005.

И. В. КАЛАШНИКОВ (ДИИТ)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ОБЛАСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ АЭРАЦИИ И В ПОДЗЕМНОМ ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ

Розроблено ефективний метод розрахунку процесу нейтралізації зони аерації та підземного водоносного горизонту нейтралізуючим розчином, який подається на поверхню ґрунту. Метод базується на побудові чисельної моделі процесу геоміграції. Розрахунок здійснюється з використанням неявної поперемінно-трикутничкової різницевої схеми.

Разработан эффективный метод расчета процесса нейтрализации зоны аэрации и подземного водоносного горизонта за счет подачи нейтрализующего раствора на поверхность ґрунта. Метод основан на построении численной модели процесса геомиграции. Расчет выполняется с использованием неявной поперемінно-треугольной разностной схемы.

An effective method to calculate the process of neutralization of soil and underground waters when the neutralizer is supplied to the surface of the soil. The method proposed is based on the numerical model of admixture transfer process. The implicit change-triangle difference scheme is used for calculation.

Анализ последствий аварий на производстве, транспорте [1; 6] показывает, что неорганизованные (аварийные) разливы на ґрунт способны вызывать интенсивное долговременное загрязнение как зоны аэрации под местом разлива, так и подземного водоносного горизонта. В этой связи особую важность приобретает разработка мероприятий по ликвидации зон загрязнения в ґрунте, подземных водах. Ввиду высокого подъема уровня безнапорных вод по многих регионах Украины, процесс поступления загрязнения с поверхности земли через зону аэрации в подземный поток может начаться достаточно быстро после аварии, что делает задачу по нейтрализации образовавшихся зон загрязнения особо актуальной.

При малой мощности зоны аэрации наиболее доступным и легкоорганизуемым средством защиты ґрунта и подземных вод от загрязнения после аварийных разливов является подача на поверхность земли воды или нейтрализующих растворов. Для этого организуется обвалование загрязненного участка с последующей подачей на него жидкости. Обзор литературы по данному вопросу показал отсутствие четких рекомендаций, расчетных методов, позволяющих для конкретных гидрогеологических условий научно-обоснованно выбрать параметры промывки и оптимизировать данный процесс. Приводимые в литературе параметры промывки носят рекомендательный характер и не привязаны к конкретному типу ґрунта. Не указывается также методика, на основе которой эти параметры были получены.

Целью данной работы явилась разработка метода расчета процесса нейтрализации областей загрязнения в зоне аэрации и в подземном потоке под участком аварийного разлива. Построенный метод основывается на создании математической модели процесса с последующей ее численной реализацией.

Будем считать, что произошел аварийный разлив серной кислоты. Ввиду задержки аварийно-спасательных команд часть кислоты успела с поверхности ґрунта профильтроваться через зону аэрации и пошла в безнапорный подземный поток (рис. 1). Таким образом, в результате аварии произошло загрязнение как зоны аэрации, так и водоносного горизонта. Для ликвидации этих зон принимается решение по подаче нейтрализующего раствора на поверхность пораженного участка с целью нейтрализации остатков кислоты в ґрунте (зона аэрации *A*, рис. 1) с последующей нейтрализацией загрязненного участка в подземном потоке, сформировавшегося под зоной аварийного разлива. Требуется изучить динамику процесса нейтрализации при выбранных параметрах промывки и известных гидрогеологических данных.

На первом этапе построения модели рассматриваемого процесса проведем схематизацию расчетной области, разбив ее на две подзоны – зону аэрации *A* и зону подземного потока, где образовалось пятно кислоты в потоке – *B* (рис. 1). Для каждой подзоны построим математическую модель.

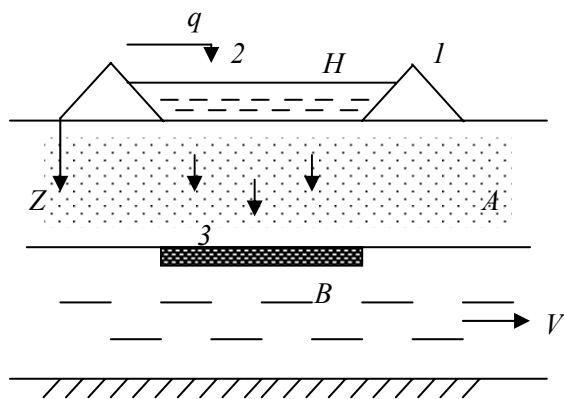


Рис. 1. Схема расчетной области
 1 – ограждающие валики; 2 – подача нейтрализатора на пораженный участок; 3 – область загрязнения в подземном потоке; A – зона аэрации; B – зона безнапорного подземного потока

Модель нейтрализации области загрязнения в зоне аэрации. Пусть на пораженный участок грунта (рис. 1) осуществляется подача нейтрализующего раствора интенсивностью q . Зона аэрации грунта, где необходимо на первом этапе ликвидировать область загрязнения, образовавшуюся за счет попадания кислоты в тупиковые поры, сорбции, характеризуется коэффициентом фильтрации K и недостатком насыщения S . В случае неоднородного грунта будем использовать величину обобщенного коэффициента фильтрации, определяемого по формуле Г. Н. Каменского [3]

$$K_0 = \frac{m}{\sum_i \frac{m_i}{k_i}},$$

где m – мощность зоны аэрации; m_i – мощность i -го слоя грунта в зоне аэрации, имеющего коэффициент фильтрации k_i .

Отметим, что в модели необходимо использовать коэффициент фильтрации K для используемой жидкости (нейтрализующего раствора). Это значение можно рассчитать следующим образом:

$$K = K_B \frac{v_B}{v},$$

где K_B – коэффициент фильтрации воды через грунт; v_B , v – коэффициенты вязкости для воды и нейтрализующего раствора.

Для эффективной промывки необходимо, чтобы выполнялось условие $q > K$, т. е. чтобы имела место фильтрация в насыщенный грунт.

Процесс миграции нейтрализующего раствора будем моделировать следующими уравнениями фильтрации и геомиграции:

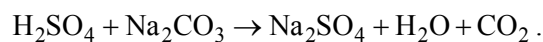
$$S \frac{dZ}{dt} = K \frac{H(t) + Z}{Z}; \quad (1)$$

$$n \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right), \quad (2)$$

где S – недостаток насыщения; Z – глубина смачивания грунта; H – уровень нейтрализующего раствора на поверхности земли; n – поверхностная пористость; u – скорость фильтрации; μ – коэффициент диффузии; φ – концентрация нейтрализатора в фильтрующемся растворе. Из решения уравнения фильтрации (1) можно определить скорость фильтрации раствора [5]

$$u = \frac{K(1-S)}{2S} + \sqrt{\frac{K^2(1-S^2)}{4K^2} + \frac{Kq}{S} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)}. \quad (3)$$

Зная скорость u , можно перейти к расчету процесса миграции нейтрализующего раствора через зону аэрации. Для этого численно интегрируется уравнение (2) с помощью попеременно-треугольной неявной разностной схемы [2]. Процесс взаимодействия нейтрализатора и кислоты на каждом временном шаге рассчитывается исходя из уравнения кинетики, например, так



Описанная модель представлена в разработанном пакете прикладных программ в виде отдельного блока «FILTR-1». В результате работы этого блока пользователь получает информацию о скорости фильтрации раствора нейтрализованной кислоты и количестве нейтрализатора, который, пройдя через зону аэрации A , начинает поступать в зону B – зону загрязненного подземного потока.

Модель нейтрализации области загрязнения в подземном потоке. Процесс миграции кислоты, нейтрализатора в безнапорном потоке будем описывать моделью градиентного типа

$$n \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right), \quad (4)$$

где φ – концентрация кислоты (нейтрализатора); u , v – компоненты вектора скорости безнапорного фильтрационного потока. Для моделирования процесса поступления нейтрализатора в количестве Q в область B из зоны аэрации в уравнение (4) включено слагаемое вида

$$Q\delta(x-x_i)\delta(y-y_i),$$

где $\delta(x-x_i)$, $\delta(y-y_i)$ – дельта-функции Дирака; x_i , y_i – координаты «точек» поступления нейтрализатора.

Краевые условия для приведенных моделей рассмотрены в работе [2].

Численное интегрирование уравнения геомиграции (4) проводится также с использованием попеременно-треугольной неявной разностной схемы [2].

Программная реализация этого этапа оформлена в виде блока «FILTR-2». В результате работы данного блока пользователь получает информацию о динамике миграции пятна кислоты в подземном потоке, нейтрализатора и скорости процесса нейтрализации.

Разработанный на базе построенной модели пакет прикладных программ был использован для решения следующей задачи. В результате разлива серной кислоты на грунт произошло загрязнение зоны аэрации под участком разлива, в результате которого в подземном потоке образовалась зона загрязнения. Для ликвидации зоны загрязнения в подземном потоке и в зоне аэрации была осуществлена подача на поверхность грунта 10-процентного раствора Na_2CO_3 . Гидрогеологические параметры таковы: коэффициент фильтрации в зоне аэрации – 2,2 м/сут; недостаток насыщения – 0,3; мощность зоны аэрации – 2,2 м; скорость фильтрации подземного водоносного горизонта – 0,3 м/сут; средняя глубина водоносного горизонта – 10 м; средняя концентрация кислоты в зоне аэрации – 12 кг/м³; а в зоне загрязнения подземного потока – 10 кг/м³. Интенсивность подачи нейтрализатора на грунт (на 1 м²) – 2,4 м/сут. Коэффициент диффузии при миграции в зоне аэрации полагается равным нулю, а в области движения безнапорного потока

$$\mu = 0,1V,$$

где V – скорость фильтрации.

Перейдем к рассмотрению результатов моделирования. В табл. 1 представлены результаты расчета глубины промачивания нейтрализующим раствором зоны аэрации, а также уровень нейтрализующего раствора на поверхности земли.

Таблица 1

Расчетные значения глубины промачивания грунта Z и уровня нейтрализующего раствора H на поверхности земли

t , сут	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Z , м	0,37	0,74	1,12	1,49	1,87	2,2
H , м	$0,77 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \cdot 10^{-1}$	$0,23 \cdot 10^{-1}$	$0,30 \cdot 10^{-1}$	$0,38 \cdot 10^{-1}$	$0,46 \cdot 10^{-1}$

Из табл. 1 видно, что потребуется около 7 часов для прохождения нейтрализующим раствором зоны аэрации. Также видно, что при выбранной интенсивности подачи на грунт нейтрализатора на поверхности земли образуется слой толщиной около 4 см, который легко поддерживать устройством ограждающих валиков. Более наглядно процесс нейтрализации кислоты в зоне аэрации виден из анализа табл. 2, 3.

Таблица 2

Расчетные значения концентрации кислоты в грунте через 120 мин после начала подачи нейтрализатора

Z , м	0,6	1	1,6	1,82	2,14
Концентрация кислоты в грунте, кг/м ³	0	9,4	12	12	12

Таблица 3

Расчетные значения концентрации кислоты в грунте через 240 мин после начала подачи нейтрализатора

Z , м	0,6	1	1,6	1,82	2,14
Концентрация кислоты в грунте, кг/м ³	0	0	5,5	11,9	12

При практическом применении метода промывки грунта нейтрализующими растворами весьма важно знать не только динамику ликвидации зоны загрязнения (см. табл. 2, 3), но также динамику поступления нейтрализующего раствора в подземный водоносный горизонт, расположенный под местом аварии. Результаты решения этой задачи представлены в табл. 4, где показано какое количество Na_2CO_3 поступило в подземный водоносный горизонт (на 1 м²) с момента начала процесса нейтрализации кислоты в зоне аэрации.

На втором этапе осуществлялся расчет процесса нейтрализации пятна кислоты в подземном потоке за счет фильтрации нейтрализующего раствора, поступающего из зоны аэрации. При этом использовались результаты моделирования предыдущего этапа, т. е. этапа нейтрализации кислоты в зоне аэрации, и в частности результаты, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Количество нейтрализатора, поступившего в подземный водоносный горизонт после начала промывки зоны аэрации

t , мин	360	420	480	540
Масса Na_2CO_3 , кг	1,14	12,42	32,83	58,11

На рис. 2 показана исходная форма пятна кислоты, сформировавшегося под местом аварии, максимальная длина пятна – 42 м, а максимальная ширина – 36 м. Нейтрализатор поступает на данное пятно сверху, интенсивность поступления его рассчитывается в модели.

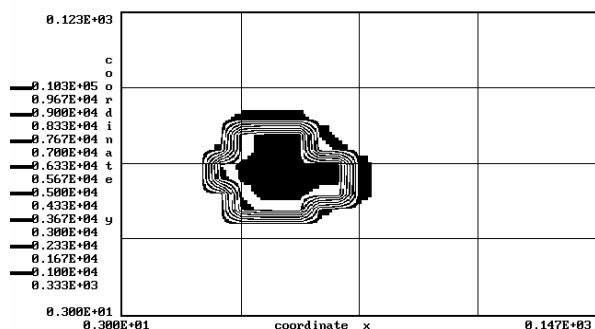


Рис. 2. Область загрязнения подземного потока через $t = 0,5$ сут после начала нейтрализации

На рис. 3, 4 показано как изменяются размеры зоны загрязнения при нейтрализации. Хорошо видно, что под действием движения подземного потока исходная область загрязнения вытягивается и выходит за границы обрабатываемого участка.

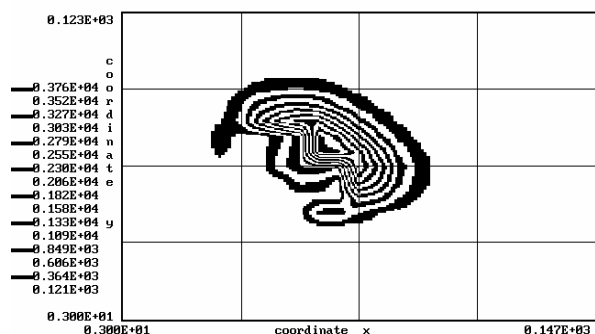


Рис. 3. Область загрязнения подземного потока через $t = 6$ сут после начала нейтрализации

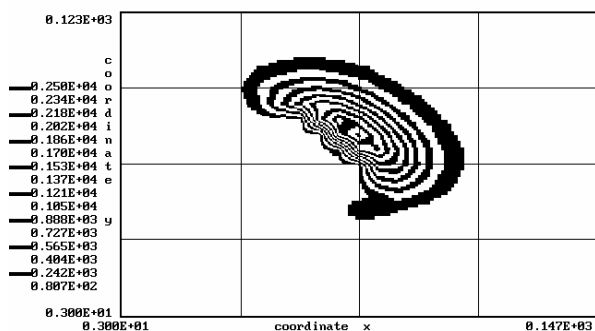


Рис. 4. Область загрязнения подземного потока через $t = 10$ сут после начала нейтрализации

В табл. 5 представлены расчетные данные по изменению максимальной концентрации кислоты в подземном потоке после начала ней-

трализации. Отметим, что нейтрализатор начал поступать из зоны аэрации в подземный поток через 7 ч после начала промывки и максимальное значение концентрации кислоты в потоке составляло 10 кг/м^3 .

Таблица 5

Изменение максимального значения концентрации кислоты в подземном водоносном горизонте после начала нейтрализации

t , сут	0,75	4,75	9,75	10,75	11,75
Максимальная концентрация кислоты в потоке, кг/м^3	9,62	7,49	5,90	5,68	5,55

Как видно из табл. 5, снижение интенсивности загрязнения подземного потока происходит достаточно медленно.

Выводы

В настоящей работе разработан эффективный метод расчета процесса нейтрализации области загрязнения, образовавшейся в зоне аэрации и в подземном водоносном горизонте под участком аварийного разлива. Метод хорошо приспособлен для практических расчетов, требует малых затрат машинного времени (время расчета 3...5 с), для расчета используется стандартная гидрогеологическая информация.

Применение разработанного метода для моделирования рассматриваемого процесса позволяет сформулировать ряд рекомендаций:

1. Аварийно-спасательные бригады или другие технические службы, обеспечивающие проведение работ по нейтрализации, должны быть обеспечены приборами для экспресс определения гидрогеологических параметров грунта зоны аэрации, водоносного горизонта на месте аварийного разлива.

2. Процесс нейтрализации области загрязнения в зоне аэрации и в подземном водоносном горизонте за счет подачи нейтрализатора на поверхность грунта является достаточно медленным и требует достаточно большого количества нейтрализующего раствора; необходимое время нейтрализации может быть определено на основе предложенного в работе метода.

3. Для эффективной нейтрализации необходимо обеспечить фильтрацию нейтрализующего раствора по типу «насыщенной» фильтрации.

Дальнейшее развитие данной работы следует вести в направлении создания банка данных по различным типам загрязнителей и нейтрализующих растворов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 5-ти кн. / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: Из-во АСВ, 2001.
2. Беляев Н. Н. Компьютерное моделирование динамики движения и загрязнения подземных вод / Н. Н. Беляев, Е. Д. Коренюк, В. К. Хрущ. – Д.: Наука и образование, 2001 – 156 с.
3. Бочевер Ф. М. Основы гидрогеологических расчетов / Ф. М. Бочевер, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, В. М. Шестаков. – М.: Недра, 1965 – 305 с.
4. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наукова думка., 1997. – 368 с.
5. Полубаринова-Кочина П. Я. Математические методы в вопросах орошения / П. Я. Полубаринова-Кочина, В. Г. Пряжинская, В. Н. Эмих. – М.: Наука, 1969. – 414 с.
6. Ярышкина Л. А. Экологические последствия загрязнения окружающей среды в результате аварий при перевозках неорганических кислот и технологические аспекты их ликвидации / Л. А. Ярышкина, В. Н. Плахотник, А. Н. Бойченко, И. А. Ревина // Межвузовский сборник научных трудов: Ресурсосберегающие технологии в транспорте и гидротехническом строительстве. Новые строительные технологии. – Д.: Арт-пресс, 1997. – Вып. 3. – С. 103–107.

Поступила в редколлегию 04.11.2005.

МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ТОКСИЧНОГО ОБЛАКА, МИГРИРУЮЩЕГО В АТМОСФЕРЕ

Запропонований новий метод розрахунку процесу нейтралізації хмари аміака за рахунок подачі суміші з гелікоптера. Метод базується на побудові чисельної моделі процесу. Як модель використовується тривимірне рівняння переносу домішок. Розрахунок здійснюється за допомогою неявної різницевої схеми.

Предложен новый метод расчета процесса нейтрализации облака аммиака за счет подачи раствора с вертолета. Метод базируется на построении численной модели процесса. В качестве модели используется трехмерное уравнение переноса примесей. Расчет выполняется с помощью неявной разностной схемы.

A new method to calculate the process to NH_3 cloud neutralization which is discharged from a helicopter. The method is based on the numerical model of the process. To simulate the process the 3D gradient model is used. The implicit difference scheme is used for calculation.

Введение

Как известно, при разливе жидкого аммиака (перегретая жидкость) в первые моменты времени после аварии образуется первичное облако. Масса аммиака, которая формирует это облако, зависит от метеоусловий и ряда других факторов [1; 3; 6] и в среднем составляет 10...20 % от общей массы разлитого груза.

Опасность токсичного поражения людей при миграции первичного облака отравляющего вещества требует разработки эффективных технологий по ликвидации такого облака. Одним из методов, наиболее часто применяемом на практике, является подача в облако воды, нейтрализующего раствора от наземной струйкой установки. В этом случае обычно используются пожарные машины, в силу своей мобильности позволяющие «перехватить» облако на пути его следования. Однако во многих случаях применение наземных струйных установок может быть практически неосуществимо. Эта ситуация возникает в условиях сложного рельефа местности, наличия растительности и т. д. Как альтернатива, для ликвидации первичного облака, уменьшения его интенсивности в таких случаях может быть применены летательные аппараты, в частности, вертолеты, которые осуществляют подачу нейтрализатора в облако (рис. 1). Как известно, такая технология используется во многих странах для борьбы с лесными, торфяными пожарами [4–6].

Анализ литературных источников, посвященных проблеме нейтрализации первичного облака аммиака или другого токсичного газа с помощью воздушных средств, показал, что в литературе дается описание данного метода, однако, отсутствуют методы расчета, которые

можно было бы применить для решения задачи по оптимизации работ, связанных с нейтрализацией первичного облака. Целью настоящей работы является разработка математической модели и метода расчета нейтрализации токсичного облака путем численного моделирования данного процесса в рамках трехмерного уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси в атмосфере.

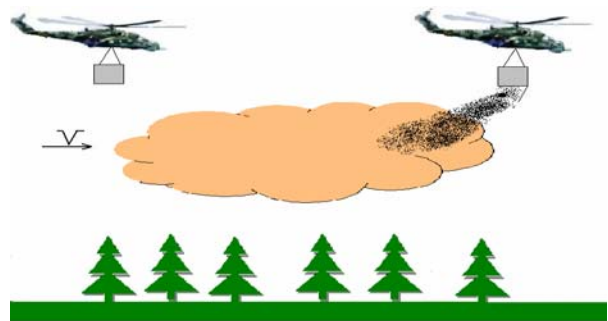


Рис. 1. Схема ликвидации облака аммиака

Метод позволяет на основе вычислительно-экспериментального эксперимента в режиме реального времени решать следующие актуальные задачи:

1. Прогнозировать динамику загрязнения атмосферы при миграции первичного облака аммиака в рамках трехмерной модели.
2. Оценивать эффективность нейтрализации первичного облака при сбросе в него нейтрализатора от вертолета с учетом метеоусловий, маршрута движения летательного аппарата, концентрации нейтрализующего раствора, режима подачи нейтрализатора.
3. Определять количество нейтрализованного аммиака в воздухе при выбранной тактике обработки (маршрут, интенсивность выброса и т. д.).

Математическая модель миграции аммиака и нейтрализатора в воздухе

Для описания миграции облака аммиака (или нейтрализатора) используется трехмерное уравнение переноса примеси

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

где φ – концентрация аммиака (нейтрализатора) в единице объема воздуха; u, v, w – компоненты вектора скорости ветра; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициенты турбулентной диффузии; t – время; σ – коэффициент, учитывающий испарения нейтрализатора; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса нейтрализатора; q_i – мощность выброса нейтрализатора в атмосферу; $\delta(r - r_i), \delta(r - r_j)$ – дельта-функция Дирака.

Уравнение (1) дополняется следующими граничными условиями: на поверхности земли

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$$

(n – вектор внешней нормали к поверхности); на боковых гранях расчетной области ставятся условия:

$$\varphi = 0 \quad \text{при} \quad (\vec{V} \cdot \vec{n}) \geq 0;$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad \text{при} \quad (\vec{V} \cdot \vec{n}) \leq 0.$$

Начальное условие имеет вид $\varphi = 0$ (для нейтрализатора), для аммиака задается его концентрация в первичном облаке. В модели учитывается процесс осаждения капель нейтрализатора под действием силы гравитации со скоростью w_s , путем добавления слагаемого $-w_s \varphi$ в модель (1), в слагаемое, учитывающее конвективный перенос со скоростью ветра w .

Метод решения

Численное интегрирование уравнения переноса аммиака или нейтрализатора осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [2].

На каждом дробном шаге расчет неизвестного значения концентрации загрязняющего вещества выполняется по схеме бегущего счета. Разностная схема является абсолютно устойчивой.

Выполним следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение (1):

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x};$$

$$\frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y};$$

$$\frac{\partial w C}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{ijk}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

где

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2} \quad \text{и т. д.}$$

Компоненты скорости потока будем задавать на гранях разностной ячейки. Вторые производные аппроксимируем следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$- \tilde{\mu}_x \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}.$$

В используемых выражениях $L_x^+, L_x^-, M_{xx}^+, M_{xx}^-$ – обозначения разностных операторов. С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (1) будет иметь вид:

$$\frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} +$$

$$+ L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \sigma C_{ijk}^{n+1} = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} +$$

$$+ M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1}).$$

Решение данного разностного уравнения при интегрировании на временном интервале dt так:

- на первом шаге $k = \frac{1}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n + \\ + M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^n); \end{aligned}$$

- на втором шаге $k = n + \frac{1}{2}$; $c = n + \frac{1}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \\ \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + \\ + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c); \end{aligned}$$

- на третьем шаге $k = n + \frac{3}{4}$; $c = n + \frac{1}{2}$

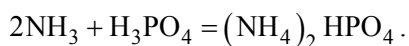
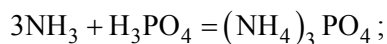
$$\begin{aligned} \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \\ + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + \\ + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^c + M_{zz}^+ C^k); \end{aligned}$$

- на четвертом шаге $k = n + 1$; $c = n + \frac{3}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \\ \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + \\ + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^c + M_{zz}^+ C^k); \end{aligned}$$

- на пятом шаге осуществляется расчет изменения концентрации под действием источников.

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент диффузии $\tilde{\mu}$ [5]. Для нейтрализации NH_3 используется подачи раствора ортофосфорной кислоты. Уравнение кинетики в этом случае имеет вид:



Алгоритм моделирования

Алгоритм моделирования процесса нейтрализации токсичного облака заключается в следующем:

1) задается форма облака, его размеры, концентрация токсиканта в нем (в численной модели имеется возможность задавать любую форму облака – сферу, «гриб» и т. п.);

2) вводится информация о метеоусловиях – скорость, направление ветра значение коэффициентов турбулентной диффузии (в численной модели есть возможность задавать также профиль ветра);

3) задается маршрут движения вертолета, его скорость, режим подачи нейтрализатора;

4) осуществляется моделирование процессов миграции NH_3 , нейтрализатора в атмосфере и расчет количества нейтрализованного аммиака на выбранный момент времени.

Результаты моделирования

Рассматриваются два сценария ликвидации облака токсичного газа. В первом сценарии движется один вертолет (на рис. 2 стрелками обозначен его маршрут), который осуществляет в течение 30 с выброс нейтрализатора с интенсивностью $q = 50$ кг/с. Во втором сценарии через 45 с после начала полета первого вертолета, вдоль его трассы начинает двигаться второй вертолет, который с той же интенсивностью осуществляет подачу нейтрализатора в облако.

Средняя концентрация NH_3 в облаке – $5 \cdot 10^{-5}$ кг/м³; коэффициент турбулентной диффузии – 2,5 м²/с; скорость вертолета – 5 м/с; скорость ветра – 3 м/с, азимут – 55°. Нейтрализатор выбрасывается в течение 20 с с вертолета. Высота облака – 74 м, длина облака – 128 м, ширина – 144 м.

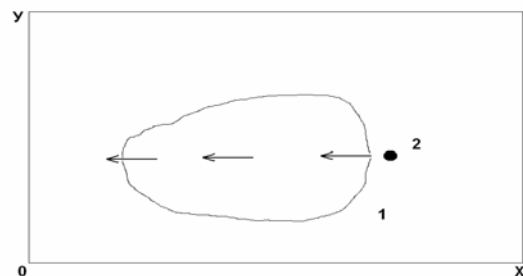


Рис. 2. Схема маршрута движения вертолета: 1 – облако NH_3 ; 2 – вертолет

Скорость оседания капель нейтрализатора – 0,03 м/с. Выброс нейтрализатора осуществляется на высоте 74 м над землей.

Перейдем к рассмотрению результатов моделирования. В табл. 1 и 2 показано какое количество аммиака нейтрализовано в тот или иной момент времени для каждого сценария стратегии ликвидации облака NH_3 . Отметим, что суммарное количество аммиака в облаке, перед началом нейтрализации составляет примерно 83 кг.

Таблица 1

Количество аммиака нейтрализованного при полете одного вертолета

t, c	Количество нейтрализованного аммиака
15	10
30	28
60	48

Таблица 2

Количество аммиака нейтрализованного при полете двух вертолетов

t, c	Количество нейтрализованного аммиака
45	40
60	48
75	54
90	57

Сопоставление данных в табл. 1 и 2 позволяет сделать вывод о степени эффективности выбранной стратегии при выбранном маршруте, интенсивности и режиме подачи нейтрализатора, а также дает возможность определить, какое количество токсичного газа будет далее мигрировать в атмосфере, если процесс нейтрализации будет на этом этапе завершен. Это позволяет прогнозировать уровень дальнейшего загрязнения атмосферы, подстилающей поверхности, оценивать возможный ущерб и последствия после проведенной операции по нейтрализации и принимать решения по организации дальнейших защитных мероприятий.

На рис. 3–7 показана динамика изменения формы токсичного облака при его обработке нейтрализующим раствором. Хорошо видно, что для приводимых моментов времени часть облака, прилегающая к подстилающей поверхности еще «не успела» попасть под действие нейтрализатора. Данные рисунки иллюстрируют возможность разработанного пакета программ «наблюдать» как происходит процесс нейтрализации в разных местах облака и выявлять подзоны, их размеры, интенсивность, где процесс нейтрализации еще не произошел.

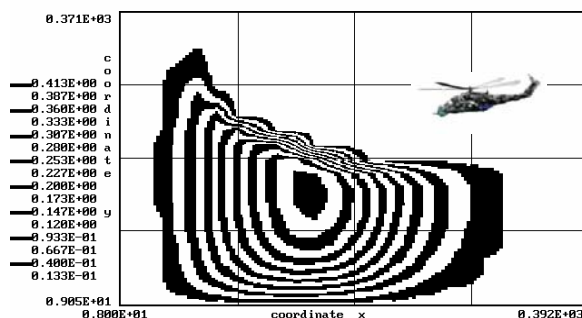


Рис. 3. Форма облака NH_3 через 30 с после начала нейтрализации (один вертолет, распределение концентрации по высоте, сечение $y = 60$ м)

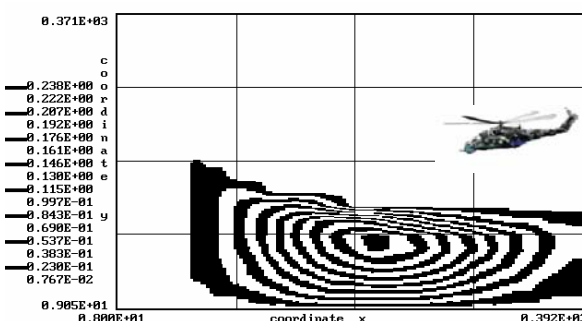


Рис. 4. Форма облака NH_3 через 60 с после начала нейтрализации (один вертолет, распределение концентрации по высоте, сечение $y = 60$ м)

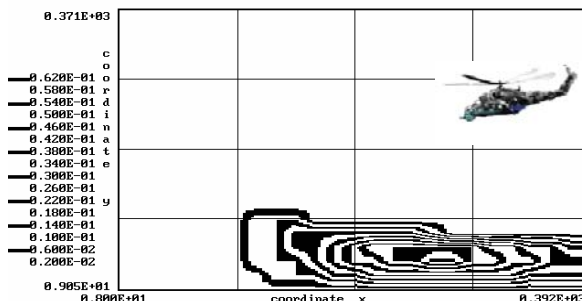


Рис. 5. Форма облака NH_3 через 90 с после начала нейтрализации (один вертолет, распределение концентрации по высоте, сечение $y = 60$ м)

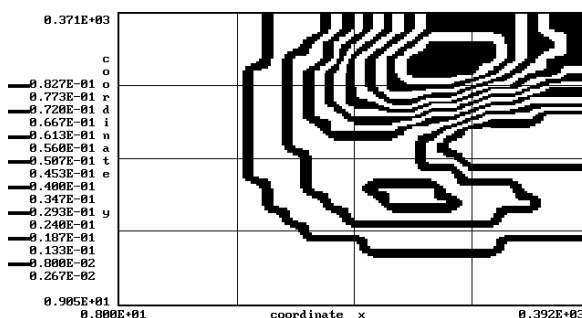


Рис. 6. Распределение NH_3 на уровне $z = 16$ м от земли (два вертолета, $t = 90$ с)

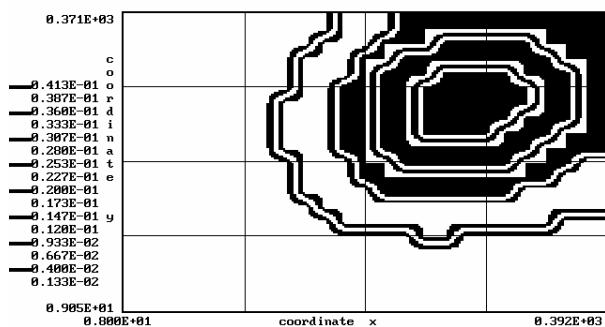


Рис. 7. Распределение NH_3 на уровне $z = 2,4$ м от земли (два вертолета, $t = 90$ с)

Выводы

В работе разработана трехмерная численная модель миграции примесей в атмосфере и на ее основе создан метод расчета нейтрализации мигрирующего в атмосфере облака токсичного газа. Нейтрализация осуществляется за счет подачи нейтрализующего раствора от летающего аппарата (вертолета). Разработанный метод расчета позволяет учитывать профиль ветра, геометрическую форму облака, различные сценарии движения вертолета и выброса нейтрализатора. Дальнейшее совершенствование модели и метода расчета следует вести в направлении разработки и адаптации их на процесс миграции тяжелого газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 5 т. / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 164 с.
2. Беляев Н. Н. Прогнозирование качества воздушной среды методом вычислительного эксперимента / Н. Н. Беляев, Е. Д. Коренюк, В. К. Хрущ. – Д.: Наука и образование, 2000. – 208 с.
3. Иванов Ю. А. Хранение и транспортировка жидкого аммиака / Ю. А. Иванов, И. И. Стижневский. – М.: Химия, 1991. – 80 с.
4. Мацак В. Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве / В. Г. Мацак, Л. К. Хоцянов. – М.: Медгиз, 1959. – 231 с.
5. Плахотник В. Н. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения / В. Н. Плахотник, Л. А. Ярышкина, В. И. Сираков и др. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 244 с.
6. Купаев В. И., Рассказов С. В. Методы локализации очага аварий и ликвидации ее последствий на химически опасных объектах железнодорожного транспорта // Транспорт: Наука, техника, управление. – 2003. – № 4. – С. 28–34.

Поступила в редколлегию 21.11.2005.

В. В. ГОВОРУХА (ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ, ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Розглянуто проблему створення пружного рейкового скріплення для швидкісного руху поїздів. Викладені методи дослідження навантаженості та пружно-деформованого стану пружних клем. Наведені результати досліджень впливу параметрів та форми пружних клем на їх працездатність.

Рассмотрена проблема создания упругого рельсового скрепления для скоростного движения поездов. Изложены методы исследования нагруженности и напряженно-деформированного состояния упругих клемм. Представлены результаты исследований влияния параметров и формы упругих клемм на их работоспособность.

The problem of creation of resilient rail fastening is considered for high-speed train services. The article describes the research methods of loading and resiliently-deformed state of resilient terminals and presents the results of investigation of the influence of parameters and form of the resilient terminals on their capacity.

Для повышения надежности и работоспособности рельсового пути, снижения динамического взаимодействия пути и подвижного состава, а также для уменьшения капитальных затрат и эксплуатационных расходов в международной и отечественной практике получили широкое применение упругие элементы промежуточных скреплений, в особенности упругие клеммы простого и сложного очертания или формы.

Вопросам создания и внедрения конструкций упругих промежуточных скреплений и упругих клемм этих скреплений уделено большое внимание. В ряде работ [1–48; 54] опубликованы результаты исследований и разработаны технические условия, которые направлены на создание элементов упругих промежуточных скреплений и упругих клемм.

В настоящей работе представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния упругих клемм различных конструкций упругих промежуточных скреплений рельсового пути и стрелочных переводов, создаваемых ИГТМ НАН Украины и НКТЬ ЦП УЗ в период 1994–2004 гг. [1–33].

Для оценки напряженно-деформированного состояния упругих клемм различного очертания и формы в данной работе использовался метод конечных элементов (МКЭ) [49; 55].

С помощью этого метода учтены геометрические формы и реальные условия работы конструкции, распределение внешних нагрузок, условия закрепления, а также механические свойства используемых материалов.

Моделирование работы клемм при эксплуатационных нагрузках выполнялось с применением специализированного проектно-вычислительного комплекса SCAD.

Для оценки прочности элементов конструкции, работающих в условиях сложного напряженного состояния, характеризующегося главными напряжениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, использована гипотеза (теория прочности), которая предусматривает возможность сопоставления некоторого эквивалентного напряжения σ_e с пределом σ_0 , который соответствует простому одноосному растяжению. Условие, характеризующее отсутствие предельного состояния в материале, представляется в виде

$$\sigma_b = f(\sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \cdot k_1 \dots k_n) \leq \sigma_0^+, \quad (1)$$

где k_1, \dots, k_n – некоторые константы, зависящие от используемой теории прочности [49].

В расчете использовалась теория октаэдрических касательных напряжений или удельной потенциальной энергии формоизменения, которая нашла широкое применение для оценки прочности упругопластичных материалов и хорошо подтверждается экспериментально. Согласно этой теории σ_e находится из соотношения

$$\sigma_b = \sigma_1 = \left\{ \frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

а условие прочности может быть записано в виде

$$\sigma_e \leq [\sigma], \quad (3)$$

где $[\sigma]$ – допускаемые напряжения для материала, из которого изготовлена конструкция клеммы.

Допустимые напряжения для исследуемых клемм приняты с пределом текучести

$$[\sigma_{т,02}] = 1570 \text{ МПа}$$

и пределом прочности

$$[\sigma_{\epsilon}] = 1710 \text{ МПа,}$$

твердостью по Бринеллю (НВ) не более – 47...50, в соответствии с материалом высокопрочной и пружинной стали марки 60С2А [50].

В основу исследований положено требование, что усилие прижатия подошвы рельса одной клеммой должно быть равно нормативной нагрузке – 12,5 кН [51; 52; 55].

При значительном многообразии экспериментальных и промышленных образцов упругих клемм и упругих промежуточных креплений, разработанных в Украине [1–33], их можно разделить на три основные группы, представленные на рис. 1–7.

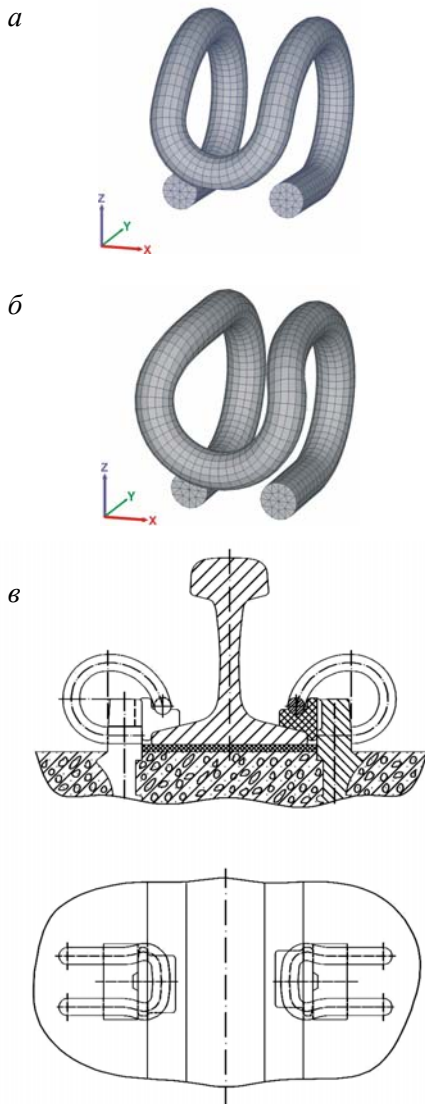


Рис. 1. Крепления типов КПП-1 и КПП-5:
а – клемма типа КПП-1; б – клемма типа КПП-5;
в – крепления типов КПП-1 и КПП-5

К первой группе относятся безболтовые клеммно-анкерные крепления с упругими клеммами типов КП-1; КП-5 (рис. 1, а, б) и КПП-7 (рис. 2, а) [1–5], фиксация которых осуществляется в головке независимого анкера. При этом, в креплениях типов КПП-1, КПП-5 (рис. 1, в), и КППТ-7 (рис. 2, б) [21–23; 25; 26] анкеры омоноличены в железобетонных шпалах [15], а в креплении типа КППДТ-7 (рис. 2, в) головки анкеров приварены к подкладке.

Крепление подкладки в этом креплении осуществляется к деревянной шпале с помощью шурупов.

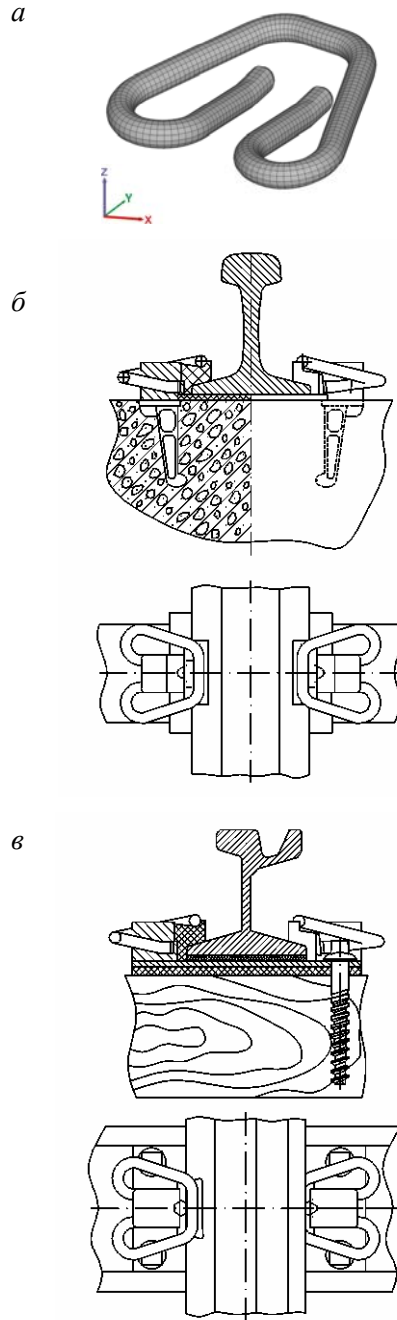


Рис. 2. Крепления типа КППТ-7 и КППДТ-7:
а – клемма типа КППТ-7; б – крепление типа КППТ-7;
в – крепление типа КППДТ-7

К этой группе следует также отнести безболтовое клеммно-подкладочное скрепление в стрелочной и контррельсовых частях стрелочных переводов, где используются относительно плоские клеммы типа КП-3 (рис. 3, а) [19–20; 24]. Крепление этих клемм осуществляется непосредственно с помощью специальных упорных проемов в зоне стрелочных подкладок подушек или контррельсовых подкладок и стоек контррельсов (рис. 3, б, в).

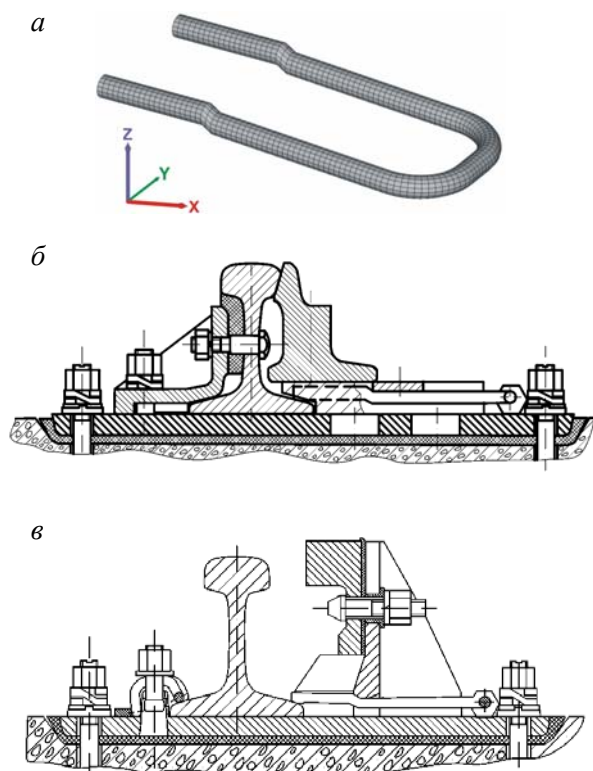


Рис. 3. Скрепления типа КПП-3:
а – клемма типа КП-3; б – скрепление в стрелочной части;
в – скрепление в контррельсовой части

Ко второй группе относятся клеммно-болтовые промежуточные скрепления с упругими клеммами типа КП-2 (рис. 4, а) [19; 20], крепление которых осуществляется с помощью клеммных болтов, фиксируемых в ребрах подкладок. Крепление подкладок к железобетонным шпалам или брусьям осуществляется с помощью закладных болтов, к примеру, в скреплении типа КПП-2 (рис. 4, б) или к деревянным шпалам, а также брусьям, где крепление подкладок осуществляется с помощью шурупов, к примеру, в скреплении типа КППД-2 (рис. 4, в) [32].

Упругие клеммы типа КП-2 могут иметь различную форму или диаметр прутка, например, в исследуемых клеммах типа КП-2-1 и КП-2-2.

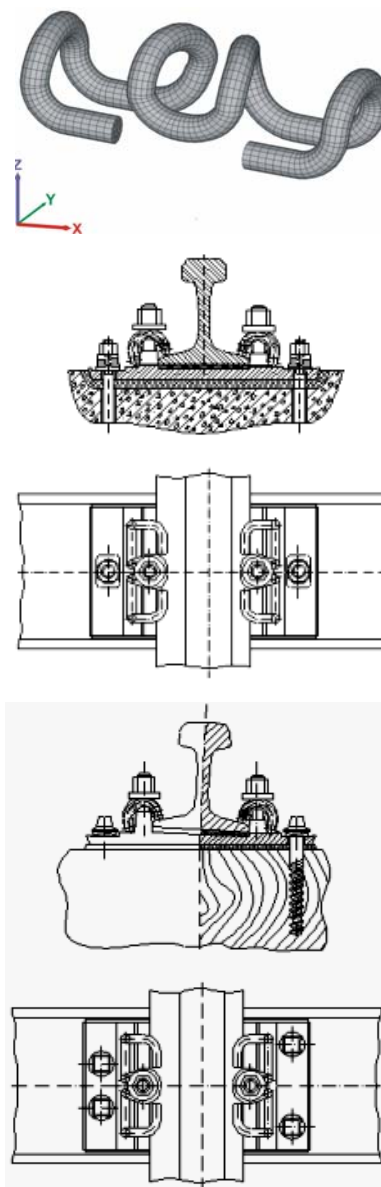


Рис. 4. Скрепление типа КПП-2:
а – скрепление типа КПП-2; б – скрепление
типа КППД-2; в – клемма типа КП-2

Третья группа включает объединенные клеммно-шурупные (или клеммно-болтовые) промежуточные упругие скрепления с парными прикрепителями на каждую клемму, где одна часть клеммы крепится к шпале с помощью шурупа или закладного болта, а две следующие части упираются независимо: одна – в подошву рельса, другая – в шпалу посредством изоляционной прокладки. В этих скреплениях регулируется сила прижатия клеммы с помощью перемещения шурупного или болтового прикрепителя. К этой группе относятся упругие скрепления, условно названные в первом упоминании о их создании автором [5], типов КПП-13 (рис. 5, б); КПП-14 (рис. 6, б) и КПП-15 (рис. 7, б). В этих промежуточных скреплениях упругие клеммы типов КП-13 (рис. 5, а), КП-14 (рис. 6, а) и КП-15 (рис. 7, а) имеют разную форму изгиба прутка

каждой из трех частей клемм. Одна часть располагается под прикрепителем, вторая часть опирается на шпалу посредством изоляционной прокладки и третья часть опирается на подошву рельса. Между этими частями прутков имеет форму переходящей кривизны.

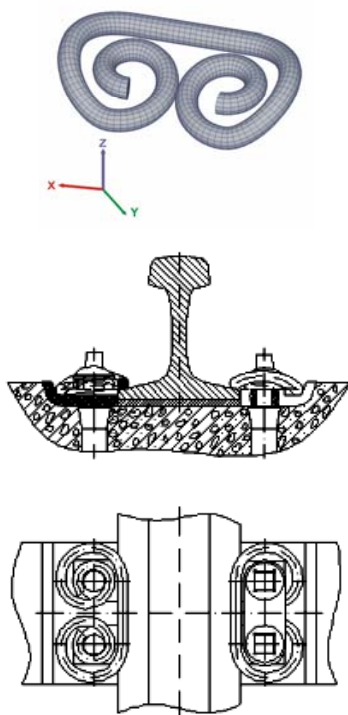


Рис. 5. Крепление типа КПП-13:
а – клемма типа КПП-13; б – крепление типа КПП-13

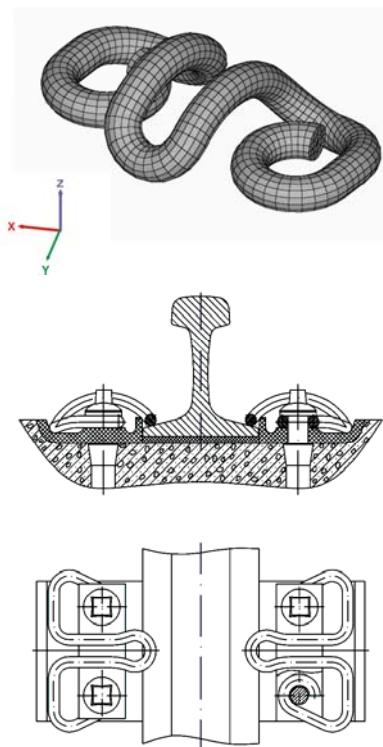


Рис. 6. Крепление типа КПП-14:
а – клемма типа КПП-14; б – крепление типа КПП-14

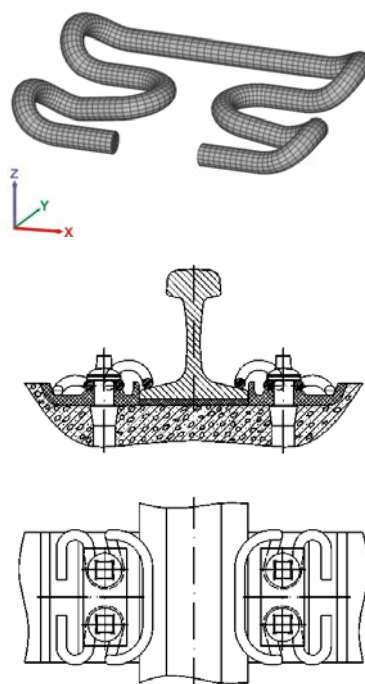


Рис. 7. Крепление типа КПП-15:
а – клемма типа КПП-15; б – крепление типа КПП-15

Для определения рациональных параметров упругих клемм и креплений проведено исследование нагруженности и напряженно-деформированного состояния клемм новых конструкций типов КПП-1; КПП-5; КПП-7; КПП-3; КПП-2; КПП-13; КПП-14, КПП-15 и им аналогичных. При этом предусмотрены варианты исследований с учетом изменений, как различной формы изгиба прутка, так и изменением расстояний от оси прикрепителей до центров мест опирания на подошву рельса, а также на шпалу через прокладку. Рассмотрены также варианты с различным диаметром прутка. Результаты этих исследований представлены в табл.

Упругие клеммы типа КПП-1 и КПП-5. Исследования проводились для двух видов нагружения. Во-первых, для «рабочего» режима, когда в точке контакта средней части клеммы (носика) и подошвы рельса прикладывалась «рабочая» нормативная нагрузка величиной 12,5 кН, а на опорах формировалась соответствующая реактивная нагрузка. Во-вторых, для «монтажного» режима, когда к свободному от фиксации концу клеммы прикладывалась «монтажная» горизонтальная (поперечная) нагрузка, обеспечивающая технологическое поперечное перемещение свободного конца клеммы на величину 16,5 мм. При этом вертикальные перемещения (z) точки контакта клеммы с рельсом соответственно для клемм типов КПП-1 и КПП-5 равнялись 6,41 и 6,15 мм, а перемещения (y), направленные от рельса по оси (Y) соответственно $-2,5$ и $-2,36$ мм.

Характеристика напряженно-деформированного состояния и нагруженности упругих клемм

№ п/п	Тип клеммы, мм	Максимальные эквивалентные напряжения, МПа σ^IV	Максимальные перемещения клеммы в точке контакта с подошвой рельса по направлениям координатных осей, мм			Жесткость клеммы в точке контакта с подошвой рельса, кН/мм	Требуемая сила затяжки шурупа или болта, кН	Перемещения клеммы под головкой шурупа или болта, мм	Жесткость клеммы под головкой шурупа или болта, кН/мм	Сила нагружения клеммы на шпалу через прокладку, кН
			X	Y	Z					
1	КП-1, Ø 16 «рабочий режим»	1 580	0	-2,5	6,41	1,95	-	-	-	-
		1 450	-	-	-	-	7,35 (поперечная монтажная нагрузка)	8,2×2 (поперечные перемещения от монтажной нагрузки)	0,45 (поперечная жесткость клеммы)	-
2	КП-5, Ø 16 «рабочий режим»	1 557	0	-2,36	6,15	2,03	-	-	-	-
		1 340	-	-	-	-	6,63 (поперечная монтажная нагрузка)	8,25×2 (поперечные перемещения от монтажной нагрузки)	0,40 (поперечная жесткость клеммы)	-
3	КП-7, Ø 16	2 239	0	-3,2	14,4	0,868	-	-	-	-
4	КП-2, Ø 14	2 268	-0,32	-0,42	11,7	1,07	28,1	-10,40	2,70	15,60
5	КП-2-1, Ø 13	2 209	-0,52	-0,29	14,3	0,87	26,1	-13,20	1,98	13,60
6	КП-2-2, Ø 14	1 989	-0,43	-0,48	11,0	1,14	27,3	-9,95	2,74	14,80
7	КП-3, Ø 16	1 491	-0,08	-0,21	5,78	2,16	19,3	-3,90	4,95	6,80
8	КП-13, Ø 16	1 544	0	0,46	8,3	1,51	11,91	-5,82	2,05	11,32
9	КП-13-1, Ø 16	2 683	0	1,71	26,1	0,48	13,5	-14,00	0,96	14,50
10	КП-13-2, Ø 16	2 366	0	0,26	19,5	0,64	10,6	-11,70	0,91	8,70
11	КП-13-3, Ø 16	2 195	0	0,97	18,0	0,69	10,9	-10,00	1,09	9,30
12	КП-14-1, Ø 14	3 674	0	1,62	43,9	0,28	11,6	-23,10	0,50	10,70
13	КП-14-2, Ø 16	1 499	0	0,16	6,75	1,85	11,9	-4,11	2,90	11,30
14	КП-15, Ø 14	2 098	0	0,44	11,91	1,05	10,41	-9,38	1,11	8,32
15	КП-15-1, Ø 14	1 754	0	0,69	7,23	1,73	10,05	-6,70	1,50	7,60
16	КП-15-2, Ø 16	1 249	0	-0,16	4,82	2,59	10,05	-4,21	2,39	7,60

Максимальные напряжения в «рабочем режиме» нагружения силой величиной 12,5 кН для обоих типов клемм отличаются незначительно и составляют в клемме типа КП-1 величину 1 580 МПа, а в клемме типа КП-5 величину 1 557 МПа.

Максимальные напряжения в «монтажном режиме» нагружения для обеспечения общей деформации (технологической раздвижки) 16,5 мм, составляют в клемме типа КП-1 величину $\sigma^{IV} = 1450$ МПа, а в клемме типа КП-5 величину $\sigma^{IV} = 1340$ МПа.

Технологическая «монтажная» поперечная нагрузка при установке клемм в рабочее положение с раздвижкой концевых участков на 16,5 мм составила для клемм типа КП-1 7,35 кН, а для клемм типа КП-5 6,63 кН.

Поперечная жесткость между концевыми участками клемм при деформации 16,5 мм, в «монтажном режиме» в клеммах типа КП-5 (0,40 кН/мм) ниже по сравнению с аналогичными данными для клемм типа КП-1 (0,45 кН/мм).

Учитывая преимущества показателей напряженно-деформированного состояния клемм типа КП-5 по сравнению с клеммами типа КП-1, отмеченные ранее в п.п. 1-3 клеммы типа КП-5 имеют лучшую работоспособность, в особенности при циклическом «монтажном» нагружении при технологической «сборке-разборке» узла промежуточного скрепления на звеноборочных базах и в эксплуатационных условиях на рельсовом пути.

Упругие клеммы типа КПТ-7. Для определения нагруженности и напряженно-деформированного состояния этой упругой клеммы нагружение осуществлялось нормативной нагрузкой 12,5 кН, приложенной в средней части (носика) клеммы, где имеется место контакта клеммы и подошвы рельса посредством изолирующего вкладыша.

От действия нормативной нагрузки между средней частью клеммы и подошвой рельса происходит вертикальная деформация точки взаимного контакта клеммы и подошвы рельса на величину $z = 14,4$ мм, а максимальные эквивалентные напряжения, равные $\sigma^{IV} = 2239$ МПа. При этом имеет место перенапряжение клеммы в опасном сечении, поскольку допустимые напряжения по пределу текучести $[\sigma_{т.02}] = 1570$ МПа и по пределу прочности $[\sigma_{в}] = 1710$ МПа.

При уменьшении величины прижатия клеммы до 9,55 кН вместо 12,5 кН величина деформации в зоне контакта клеммы и подошвы рельса составляет 11,0 мм, а напряже-

ние $\sigma^{IV} = 1710$ МПа, что соответствует пределу прочности $[\sigma_{в}] = 1710$ МПа.

Упругие клеммы типа КП-3. В результате исследований получены величины перемещений клеммы типа КП-3 в «монтажном» режиме, включая точку опирания в стойку контррельса или в консоли подкладки-подушки, где условно воздействует сила 19,3 кН, которая формирует прижатие концов клеммы к подошве рельса нормативной силой 12,5 кН. При этом величина условной вертикальной деформации клеммы в точке контакта 3,9 мм. Жесткость клеммы в этой точке 4,95 кН/мм. Максимальные эквивалентные напряжения $\sigma^{IV} = 1491$ МПа и не превышают допустимых $[\sigma_{т.02}] = 1570$ МПа.

При воздействии нормативной нагрузки 12,5 кН в месте контакта клеммы и подошвы величина вертикальных перемещений концевых участков клеммы $z = 5,78$ мм. Жесткость клеммы в точке контакта с подошвой рельса 2,16 кН/мм.

Величины жесткости клемм в точках взаимного контакта клеммы с подошвой рельса и с опорными элементами на подкладках-подушках или стойках контррельсов несколько завышены, особенно в точках опирания в проемах подкладки-подушки и стойки контррельса. Такое значение жесткости 4,95 кН/мм в зонах размещения проемов для опирания клеммы требует, прежде всего, высокой точности обработки и соблюдения координат фиксированного положения клеммы в проеме.

Упругие клеммы типа КП-2. Для базового варианта исследований принята клемма типа КП-2, имеющая диаметр поперечного сечения прутка диаметром 14 мм, а наклон задней стенки к вертикальной плоскости равен углу $\alpha = 7^\circ$. В следующих вариантах исследований угол наклона задней стенки клеммы принят $\alpha = 0^\circ$. В этих случаях принято условное обозначение клеммы с диаметром прутка 13 мм и углом $\alpha = 0^\circ$ – КП-2-1, а с диаметром прутка 14 мм и углом $\alpha = 0^\circ$ – КП-2-2.

По результатам приведенных выше исследований этих клемм получено, что при обеспечении требуемой величины нормативной нагрузки, равной 12,5 кН, в месте контакта концевых участков клеммы и подошвы рельса, величина наибольших эквивалентных напряжений (σ^{IV}) для всех исследуемых вариантов клемм превышает допустимые напряжения. Так, величина максимальных эквивалентных напряжений по IV теории прочности для вариантов клемм типа

КП-2 и КП-2-1 составила соответственно 2 268 и 2 204 МПа, при допустимых напряжениях по пределу текучести $[\sigma_{т.02}] = 1570$ МПа и по пределу прочности $[\sigma_{в}] = 1710$ МПа. Для варианта клеммы типа КП-2-2, с учетом диаметра прутка 14 мм и угла наклона задней стенки клеммы равному нулю ($\alpha = 0^\circ$), максимальное эквивалентное напряжение по IV теории прочности составило 1 989 МПа. Полученная величина напряжения при этом на 20 % меньше, чем в предыдущих вариантах, однако, превышает допустимые напряжения.

Установлено, что величины деформаций клемм типов КП-2; КП-2-1 и КП-2-2 в месте контакта с клеммными болтами, при равных условиях создания нагружения, равны соответственно $z = -10,7$, $z = -13,2$ и $z = -9,95$ мм, а сила затяжки клемм клеммными болтами равна соответственно 28,1, 26,1 и 27,3 кН. Жесткость клемм в точке затяжки клеммных болтов равна 2,7, 1,98 и 2,74 кН/мм. Величины деформаций концевых участков клеммы в месте контакта с подошвой рельса, при равных условиях нагружения нормативной нагрузкой величиной 12,5 кН равны соответственно $z = 11,7$; $z = 14,8$ и $z = 11,0$ мм. Жесткость клемм в точке контакта концевых участков клемм и подошвы рельса равны 1,07, 0,87 и 1,14 кН/мм.

Из приведенных результатов видно, что форма и геометрические параметры клемм типов КП-2-1 и КП-2-2 являются более рациональными по сравнению с клеммой типа КП-2, поскольку расположение задних участков клемм в вертикальной плоскости ($\alpha = 0^\circ$) позволяет уменьшить изгибающий и крутящий моменты, создаваемые прикладываемым усилием затяжки клеммного болта. Это приводит к снижению максимальных эквивалентных напряжений в наиболее напряженной точке задней стенки клеммы, а также к перераспределению суммарных эквивалентных напряжений.

Отсутствие разрушения клемм типа КП-2-2 в эксплуатации происходит из-за недожатия клемм до нормативной величины силы прижатия к подошве рельса $R_{A,Z} = 12,5$ кН. Для обеспечения работы клеммы с соблюдением фактических эквивалентных напряжений, непревышающих предел текучести $[\sigma_{т.02}] = 1570$ МПа, изменятся все показатели работы клеммы. В этом случае величина прижатия клеммой подошвы рельса уменьшится до 9,86 вместо 12,5 кН, а перемещение клеммы под головкой болта уменьшится до 7,85, вместо 11,0 мм и сила затяжки болта уменьшится до 21,5, вместо 27,3 кН.

Дальнейшее совершенствование конструкции клемм по аналогии с исследуемым образцом клемм типа КП-2-2 привело к улучшению их работоспособности в эксплуатационных условиях [7; 13; 17; 19; 20].

Упругие клеммы типа КП-13 упругого скрепления типа КПП-13 впервые описаны в 2003 г. в работе [5] и так условно названы автором по первому упоминанию. В 2003 г. в технических условиях [54] конструкция этой клеммы названа КП-7.

В данной работе представлены исследования напряженно-деформированного состояния нескольких видов клемм этого типа, которые выполнены из круглого прутка диаметром 16 мм и имеют сложную пространственную форму. Клеммы этого типа, а также упругого промежуточного скрепления типа КПП-13 являются принципиально новой конструкцией [5].

По результатам исследований получено, что создание нормативной нагрузки в местах прижатия клемм к подошве рельса величиной 12,5 кН обеспечивается посредством воздействия от крепежителей (шуруп или болт) на клеммы типов КП-13; КП-13-1; КП-13-2 и КП-13-3 монтажной нагрузки равной соответственно 11,91, 13,5, 19,5 и 7,92 кН. При этом величины вертикальных упругих перемещений в местах действия крепежителей для указанных типов клемм равны 5,82, 14,0, 11,3 и 10,0 мм, а величины жесткости клемм в местах действия крепежителей, также равны 2,05, 0,96, 1,72, 0,79 кН/мм. Величины наибольших эквивалентных напряжений (σ^{IV}) в опасном сечении клеммы для исследуемых вариантов соответственно указанной выше последовательности, равны 1 544, 2 683, 2 360 и 2 195 МПа.

Величины деформаций участков клемм в месте контакта с подошвой рельса при одинаковых условиях нагружения нормативной нагрузкой 12,5 кН равны для указанных клемм соответственно 8,3, 26,1, 19,5 и 18,0 мм, а жесткости клемм в точке их контакта с подошвой рельса равны 1,51, 0,48, 0,64 и 0,69 кН/мм.

Форма, плавные переходы кривизны и геометрические параметры клеммы типа КП-13 являются более рациональными, по сравнению с исследуемыми клеммами аналогичной формы типов КП-13-1; КП-13-2 и КП-13-3 по состоянию напряженно-деформированного состояния и нагруженности на крепежители. При этом, наибольшие эквивалентные напряжения (σ^{IV}) в опасном сечении клеммы типа КП-13 равны 1 544 МПа при допустимых напряжениях по пределу текучести $[\sigma_{т.02}] = 1570$ МПа. В остальных трех типах клемм наибольшие напряжения в опасных точках превышают допустимые.

Нагруженность на прикрепители в скреплениях типа КПП-13 с клеммой типа КП-13 составляет 11,91 кН, в то время, как в остальных конструктивных решениях клемм нагрузки находятся в пределах 7,92...19,5 кН. При этом, нагруженность на прикрепители увеличивается, с увеличением численного отношения общей величины расстояния между точкой опирания клеммы на подошву рельса и точкой опирания клеммы на шпалу (посредством прокладки) до величины расстояния между осью прикрепителя и точкой опирания клеммы на шпалу.

Клемма типа КП-13 имеет наибольшую жесткость в зоне действия прикрепителя (2,05 кН/мм) в связи с малой величиной перемещения клеммы в этом месте (5,82 мм) при нагрузке от прикрепителя величиной 11,91 кН. Жесткость клемм в зоне прикрепителя для остальных типов этой модели находится в пределах 0,79...1,00 кН/мм.

Клеммы типа КП-13 имеют наибольшую жесткость в зоне совместного контакта с подошвой рельса (1,51 кН/мм) в связи с малой величиной деформации (8,3 мм) от действия нормативной нагрузки (12,5 кН). Жесткость остальных клемм в зоне их контакта с подошвой рельса находится в пределах 0,48...0,69 кН/мм. Малая величина жесткости этих клемм и большая величина перемещений связана с большой величиной расстояния между точкой опирания клеммы на подошву рельса и точкой опирания на шпалу равной 104...116 мм при том, что у клеммы типа КП-13 это расстояние равно величине 74 мм.

Упругие клеммы типа КП-14. В работе представлены исследования двух видов клемм этого типа, которые выполнены из круглого прутка диаметром 14 и 16 мм и имеют сложную пространственную форму. Клеммы этих типов КП-14-1 и КП-14-2 являются также принципиально новой конструкцией.

При исследовании создание нормативной нагрузки в местах контакта клеммы к подошве рельса величиной 12,5 кН обеспечивалось при воздействии от прикрепителей на клеммы типа КП-14-1 и КП-14-2 «монтажной» нагрузки, равной, соответственно, 11,6 и 11,9 кН. При этом величины вертикальных упругих перемещений в местах действия прикрепителей равны -23,10 и -4,11 мм, а величины жесткости клемм в местах действия прикрепителей также, равны 0,5 и 2,9 кН/мм.

Величины эквивалентных напряжений (σ^{IV}) в опасном сечении клеммы для исследуемых вариантов клемм равны, соответственно, 3 674 и 1 499 МПа.

Величины деформации участков клемм в месте контакта с подошвой рельса при одинаковых условиях нагружения нормативной нагрузкой величиной 12,5 кН равны для исследуемых типов клемм, соответственно, 43,9 и 6,75 мм, а жесткости клемм в этих местах равны 0,28 и 1,85 кН/мм.

Форма и геометрические параметры клеммы типа КП-14-2 являются более рациональными по сравнению с аналогичными клеммами типа КП-14-1, по состоянию напряженного состояния клемм. При этом, напряжения (σ^{IV}) в клемме типа КП-14-2 равны 1 499 МПа и не превышают допустимых напряжений по пределу текучести [$\sigma_{т.02}$]=1570 МПа. В клемме типа КП-14-1 максимальные напряжения значительно превышают допустимые (3 674 \geq 1 570 МПа).

Нагруженность на прикрепители в скреплениях типа КП-14-1 и КП-14-2 составляют, соответственно, 11,6 и 11,9 кН и разница между нагрузками незначительна в связи с незначительной разницей в соотношениях между расстоянием между точками опирания клеммы на подошву рельса и на шпалу и расстоянием между точками опирания клеммы на шпалу и на прикрепитель.

Упругие клеммы типа КП-15. В работе представлены исследования трех вариантов клемм этого типа, которые выполнены из прутка диаметром 14 и 16 мм. Клеммы этих типов КП-15; КП-15-1 и КП-15-2 являются также принципиально новой конструкцией.

При исследовании создание нормативной нагрузки величиной 12,5 кН в местах контакта клеммы с подошвой рельса обеспечивалось при воздействии прикрепителями на клеммы типов КП-15; КП-15-1 и КП-15-2 «монтажной» нагрузки, равной, соответственно, 10,41, 10,05, и 10,05 кН. При этом величины вертикальных упругих перемещений в местах действия прикрепителей равны -9,38; -6,7 и -4,21 мм, а величины жесткости клемм в местах действия прикрепителей также равны 1,11, 1,5 и 2,39 кН/мм.

Величины эквивалентных напряжений (σ^{IV}) в опасном сечении каждой из исследуемых клемм равны 2 098, 1 754 и 1 249 МПа.

Величины деформации клемм в месте контакта с подошвой рельса при одинаковых условиях нагружения нормативной нагрузкой 12,5 кН для исследуемых типов клемм, соответственно, равны 11,91, 7,23 и 4,82 мм, а жесткость клемм в этих местах равны 1,05, 1,73 и 2,59 кН/мм.

Установлено, что при одинаковых величинах расстояний между прикрепителем и точка-

ми опирания клеммы на подошву рельса и шпалу для исследуемых вариантов имеет место уменьшение максимальных напряжений в клеммах типов КП-15-1 и КП-15-2 (1 754 и 1 249 МПа) по сравнению с клеммами типа КП-15 (2 098 МПа). Причиной этому является уположивание формы боковых частей этих клемм с их понижением по сравнению с формой, имеющей приподнятость к верху боковых частей у клемм типа КП-15. Уменьшение напряжений у клемм типа КП-15-2 (1 249 МПа) по сравнению с клеммами типа КП-15-1 (1754 МПа) связано с увеличением диаметра прутка до 16 вместо 14 мм, поскольку все остальные геометрические параметры этих клемм одинаковы.

Нагруженность на прикрепители в исследуемых типах клемм, в основном, одинакова (10,41, 10,05, 10,05 кН). Причиной этому является одинаковые расстояния между прикрепителями и точками опирания клемм на подошву рельса 61 мм и опирания на шпалу 61 мм.

Клемма типа КП-15-2 имеет малые перемещения и повышенную жесткость в месте контакта ее с подошвой рельса (4,82 и 2,59 кН/мм), а также в месте контакта с прикрепителем (-4,21, 2,39 кН/мм), несмотря на то, что максимальные напряжения меньше допустимых ($1\,249 < 1\,570$ МПа). Клемма типа КП-15 имеет хорошие показатели перемещений и жесткости в месте контакта с подошвой рельса (11,91, 1,05 кН/мм) и в месте контакта с прикрепителем (-9,38, 1,11 кН/мм), однако максимальные напряжения превышают допустимые ($2\,098 > 1\,570$ МПа). Клемма типа КП-15-1 по напряженно-деформированному состоянию имеет промежуточное положение между клеммами типа КП-15 и КП-15-2, однако, максимальные напряжения превышают допустимые, т. е. $1\,754 > 1\,570$ МПа.

Выводы

С помощью метода конечных элементов проведены теоретические исследования нагруженности и напряженно-деформированного состояния большого количества вариантов упругих клемм, имеющих различные параметры, форму и пространственную траекторию геометрической оси прутка клемм применительно к конструктивным решениям промежуточных рельсовых скреплений путевой структуры. Полученные результаты позволили решать ряд задач механики прочности рельсовых скреплений: установление рациональных параметров конструкции, определение характеристик упругости,

получение показателей нагруженности и напряженности, выявление мест возможных разрушений и причин накопления остаточных деформаций и разрушений элементов промежуточных скреплений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Говоруха В. В. Создание и внедрение упругих элементов промежуточного скрепления рельсового пути // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вып. 2 – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – С. 162–171.
2. Говоруха В. В. Современные конструкции промежуточных рельсовых скреплений // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Д.: Полиграфист, 2002. – С. 49–77.
3. Говоруха В. В. Упругие элементы промежуточных рельсовых скреплений // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Д.: Полиграфист, 2002. – С. 78–94.
4. Говоруха В. В. Создание стрелочной железобетонной и смежной продукции для скоростного движения поездов // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Д.: Полиграфист, 2002. – С. 201–207.
5. Говоруха В. В. Экспериментальные исследования показателей прочности упругих промежуточных скреплений рельсового пути // Геотехническая механика. – Вып. 43. – Д.: Полиграфист, 2003. – С. 187–195.
6. Булат А. Ф. Закономерность разрушения эластомеров при длительном циклическом нагружении / А. Ф. Булат, В. В. Говоруха, В. И. Дырда // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины им. Н. С. Полякова – Вып. 52. – Д., 2004. – С 3–95.
7. Костюк М. Д. Стрілочні переводи і суміжне устаткування для швидкісного руху поїздів / М. Д. Костюк, В. В. Говоруха // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 3. – С. 15–17.
8. Костюк М. Д. Сучасна конструкція суміщеної рейкової колії 1520 та 1435 мм із залізобетонними шпалами та проміжним пружним рейковим скріпленням / М. Д. Костюк, В. В. Говоруха // Строительство: Сб. научн. тр. ДИИТ. – Вып. 10. – Д., 2002. – С. 72–75.
9. Кірта Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, Арт-Прес, 2003. – С. 211–214.
10. Деклараційний патент на винахід: № 49743 А. Україна (UA). Кл. E01B7/20. Вузол кріплення рамної рейки / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк, С. Д. Тараненко – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
11. Деклараційний патент на винахід: № 49745 А. Україна (UA). Кл. E01B9/48. Клема рейкового скріплення / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк, Я. В. Дубневич. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.

12. Деклараційний патент на винахід: № 49747 А. Україна (UA). Кл. E01B5/18. Контррейковий вузол / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк, С. Д. Тараненко – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
13. Деклараційний патент на винахід: № 49768 А. Україна (UA). Кл. E01B9/48. Рейкове скріплення / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
14. Деклараційний патент на винахід: № 55333 А. Україна (UA). Кл. E01B9/48. Пружинна клема рейкового скріплення / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 3. – 17.03.2003.
15. Деклараційний патент на винахід: № 48923 А. Україна (UA). Кл. E01B9/30. Анкер для рейкового кріплення / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк, Я. В. Дубневич. – Бюл. № 8. – 15.08.2002.
16. Деклараційний патент на винахід: № 49749 А. Україна (UA). Кл. E01B9/48. Пристрій для кріплення рейки / В. В. Говоруха, М. Д. Костюк, С. Д. Тараненко. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
17. ТУ У 32.30268559.072-2002. Скріплення пружне проміжне типу КППД-2 для рейок типу Р65 на дерев'яних шпалах. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2002. – Д., 2002. – 16 с.
18. ТУ У 88.311.007-97. Клемма пружная КП-1 промежуточного скрепления КПП-1. Опытная партия. Технические условия. Ввод. 1997. – Д., 1997. – 22 с.
19. ТУ У 30268559.021-2000. Клеми пружні для рейкових колій та стрілочних переводів залізничного транспорту. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2000. – Д., 2000. – 29 с.
20. ТУ У 30268559.002-99. Клеми пружні для рейкових колій та стрілочних переводів залізничного транспорту. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 1999. – Д., 1999. – 29 с.
21. ТУ У 35.2-30268559-039-2002. Клеми пружні типу КП-5 проміжного скріплення типу КПП-5. Технічні умови. Введ. 02.12.2002. – Д., 2002. – 42 с.
22. ТУ У 32.30268559.039-2001. Клема пружна КП-5 проміжного скріплення КПП-5. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2001. – Д., 2001. – 18 с.
23. Інструкція по укладанню та утриманню колії на залізобетонних шпалах з пружним скріпленням типу КПП-1, КПП-5. Введ. 2002. – Д., 2002. – 43 с.
24. УЗ.068.00.000 ІМ. Інструкція по складанню пружних колійних скріплень з пружними клемами типу КП-2 та КП-3. Введ. 2002. – Д., 2002. – 16 с.
25. ТУ У 32.30268559.065-2002. Клема пружна типу КПП-7 проміжного скріплення типу КППТ-7. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2002. – Д., 2002. – 19 с.
26. ТУ У 32.30268559.055-2001. Скріплення пружне проміжне безпідкладочне КППТ-7 для рейок типу Р65 на залізобетонних шпалах. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2001. – Д., 2001. – 15 с.
27. ТУ У 32.30268559.059-2002. Клема пружна типу КПП-6 проміжного скріплення типу КППТ-6. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2002. – Д., 2002. – 19 с.
28. ТУ У 32.30268559.057-2001. Скріплення пружне проміжне КППТ-9 для рейок типу Р65 на залізобетонних шпалах. На дослідну партію. Введ. 2001. – Д., 2001. – 17 с.
29. ТУ У 32.30268559.063-2002. Клема пружна типу КПП-9 проміжного скріплення типу КППТ-9. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2002. – Д., 2002. – 18 с.
30. ТУ У 35.2-05411357-002-2004. Скріплення рейкове шумознижуюче для рейок типу Т62. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2004. – Д., 2004. – 19 с.
31. ТУ У 35.2-30268539-091-2002. Клема пружна КП-12 проміжного скріплення КПП-12. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2002. – Д., 2002. – 26 с.
32. ТУ У 32.30268559.072-2002. Скріплення пружне проміжне типу КППД-2 для рейок типу Р65 на дерев'яних шпалах. На дослідну партію. Технічні умови. Введ. 2002. – Д., 2002. – 16 с.
33. ТУ У 35.2-30268559-118-2004. Скріплення проміжні типу КПП-5. Технічні умови. Введ. 18.02.2002. – Д., 2004. – 27 с.
34. Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации: сб. научн. тр. ВНИИЖТ / Под ред. М.Г. Крисанова. – М.: Интекст, 2000. – 142 с.
35. Альдрехт В. Г. Бесстыковой путь / В. Г. Альдрехт, Н. П. Виногоров, Н. Б. Зверев и др.; Под ред. В. Г. Альбрехта, А. М. Когана. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
36. Лысюк В. С. Управление надежностью бесстыкового пути / В. С. Лысюк, В. Т. Семёнов, В. М. Ермаков, Н. Б. Зверев, Л. В. Башкатова; Под ред. В. С. Лысюка. М.: Транспорт, 1999. – 373 с.
37. Карпущенко Н. И. Совершенствование рельсовых скреплений / Н. И. Карпущенко, Н. И. Антонов. – Новосибирск: Изд-во СГУСа, 2003. – 300 с.
38. Совершенствование рельсовых скреплений: Тр. ВНИИЖТ / Под ред. Н. В. Петрова. – М.: Транспорт, – 1979. – Вып. 616. – 128 с.
39. Технические требования к промежуточным рельсовым скреплениям ЦП 1-86 / ВНИИЖТ МПС. М.: 1987. – 9 с.
40. Яковлева Т. Г. Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов и др.; Под ред. Т. Г. Яковлевой. 2-е изд., с изм. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 407 с.
41. Шахуняну Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
42. Ланчаков Э. Т. Напряженно-деформированное состояние пружинных клемм промежуточных безболтовых скреплений // Вопросы пути и его содержания: Сб. научн. тр. Моск. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – М. – 1976. – Вып. 491. – С. 134–143.
43. Алексеева Л. П. Исследование параметров пружинной клеммы АРС // Вопросы повышения надежности и уровня использования железнодорожного пути: Сб. научн. тр. Моск. ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Вып. 759. М.: 1984. – С. 52–62.

44. Антонов Н. И. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния упругих клемм рельсового скрепления // Экспериментальные и расчетные методы строительной механики: Межвуз. сб. научн. тр. – Новосибирск, 1997. – С. 18–25.
45. Гучков А. К. Скрепление ЖБР-65 / А. К. Гучков, Ю. Н. Радчин // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 2. – С. 14–15.
46. Афанасьев В. Ф. Упругие скрепления для деревянных и железобетонных шпал // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 3. – С. 23–26.
47. Ермаков В. М. Оценка качества и совершенствование элементов верхнего строения / В. М. Ермаков, В. М. Федин, А. И. Борц // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 3. – С. 20–23.
48. Петренко С., Владимир Говоруха – путь поиска и свершений на рельсовом транспорте железных дорог, шахт, рудников и карьеров // Вісті Придніпров'я. – № 13/2 (502). 19.02.2004. – С. 20–21.
49. SCAD для пользователя / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер, А. Н. Трофимчук. – К.: ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
50. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, В. С. Волосникова, С. А. Вяткин и др.: Под общ. ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
51. Р 745. Рекомендации по уточнению технических требований на проектирование упругих рельсовых скреплений // Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). Разработано IX Комиссией на совещании с 11 по 16 мая 1987 г. в г. Печ. Дата вступления в силу – 10 сентября 1987 г.
52. Р 745/1. Упругие скрепления рельсов с клеммами типа: SKL 12 (с подкладками), SKL 14 (без подкладок) // Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). Разработано совещанием экспертов V Комиссии ОСЖД Штреба, 7–9 апреля 1999 г. Дата вступления в силу: 08 октября 1999 г.
53. ТУ 21483238-001-95. Анкер закладной. Технические условия. – Киев, 1995. – 17 с.
54. ТУ У 35.2-30268559 – 128Д – 2003. Клема пружна типу КП-7 для нероздільного пружного скріплення. На дослідну партію. Введ. 2003. – Д., 2003. – 19 с.
55. Говоруха В. В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений: Монография. – Д.: Изд-во «Лира ЛТД», 2005. – 388 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2005.

А. А. КЕБИКОВ (БелГУТ, Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА РЕЛЬСОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ

Досліджено стан матеріалу на поверхні катання рейок, які експлуатуються в умовах метрополітену.

Исследовано состояние материала на поверхности катания рельсов, эксплуатирующихся в условиях метрополитена.

The conditions of the material on the rolling surface of rails, maintained in the underground conditions, are investigated.

Проблема обеспечения требуемой эксплуатационной долговечности системы колесо-рельс и особенно главного ее элемента – рельса является одной из самых злободневных для железнодорожного транспорта во всех странах мира. Известно огромное количество литературы, посвященной ее обсуждению с разных позиций [1–6] и мн. др.; систематически проводятся специальные международные научно-технические конференции. И хотя общими усилиями достигнуты впечатляющие успехи в разрешении многих задач, сама проблема как была, так и остается: выход, например, рельсов из строя – это бич современного железнодорожного транспорта.

Действующими нормативными документами по текущему содержанию пути в условиях метрополитенов рекомендуется: независимо от того, есть или нет дефекты в рельсах типа Р50, они должны заменяться сплошь после пропуска 300 млн т в прямых и кривых радиусом более 600 м; 210 млн т – в кривых радиусом 600...301 м.

За 20 лет эксплуатации первой линии Минского метрополитена по рельсам первого участка пропущено более 338 млн т, а за 18 лет на втором участке – более 317 млн т. Таким образом, по всей первой линии пропущен сверхнормативный тоннаж, и все рельсы должны были заменены новыми.

Для продления существующих нормативов срока службы рельсов в прямых и кривых участках Минского метрополитена был выполнен комплекс исследований. Особое внимание было уделено изучению состояния материала поверхностных слоев головки нетермоупрочненных рельсов типа Р50 после пропуска нормативного тоннажа в сравнении с состоянием до эксплуатации. Кроме того, проанализировано изменение свойств в процессе эксплуатации.

Объектами для исследований служили три отрезка рельсов:

- не бывший в эксплуатации (исходное состояние);
- вырезанный из прямого участка пути, после эксплуатации, в течение которой пропущен нормативный тоннаж 300 млн т;
- вырезанный из кривого участка пути радиусом 500 м, после эксплуатации, в течение которой пропущен нормативный тоннаж 210 млн т.

Было выполнено исследование твердости по Виккерсу (HV) по поверхности катания и по боковой поверхности головки рельса. Схема измерения твердости представлена на рис. 1.

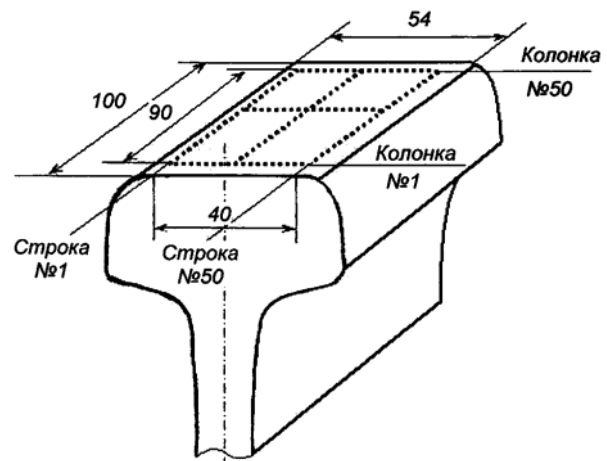


Рис. 1. Схема измерения твердости на поверхности катания головки рельса

Систематизация и обобщение статистических данных для поверхности катания рельса из прямого участка выполнены на рис. 2.

Обнаруживаются четыре (I, II, III, IV) характерные зоны деформирования головки рельса на ее поверхности катания.

В зоне I твердость достигает наибольших значений порядка 500...600 HV и (редко) более.

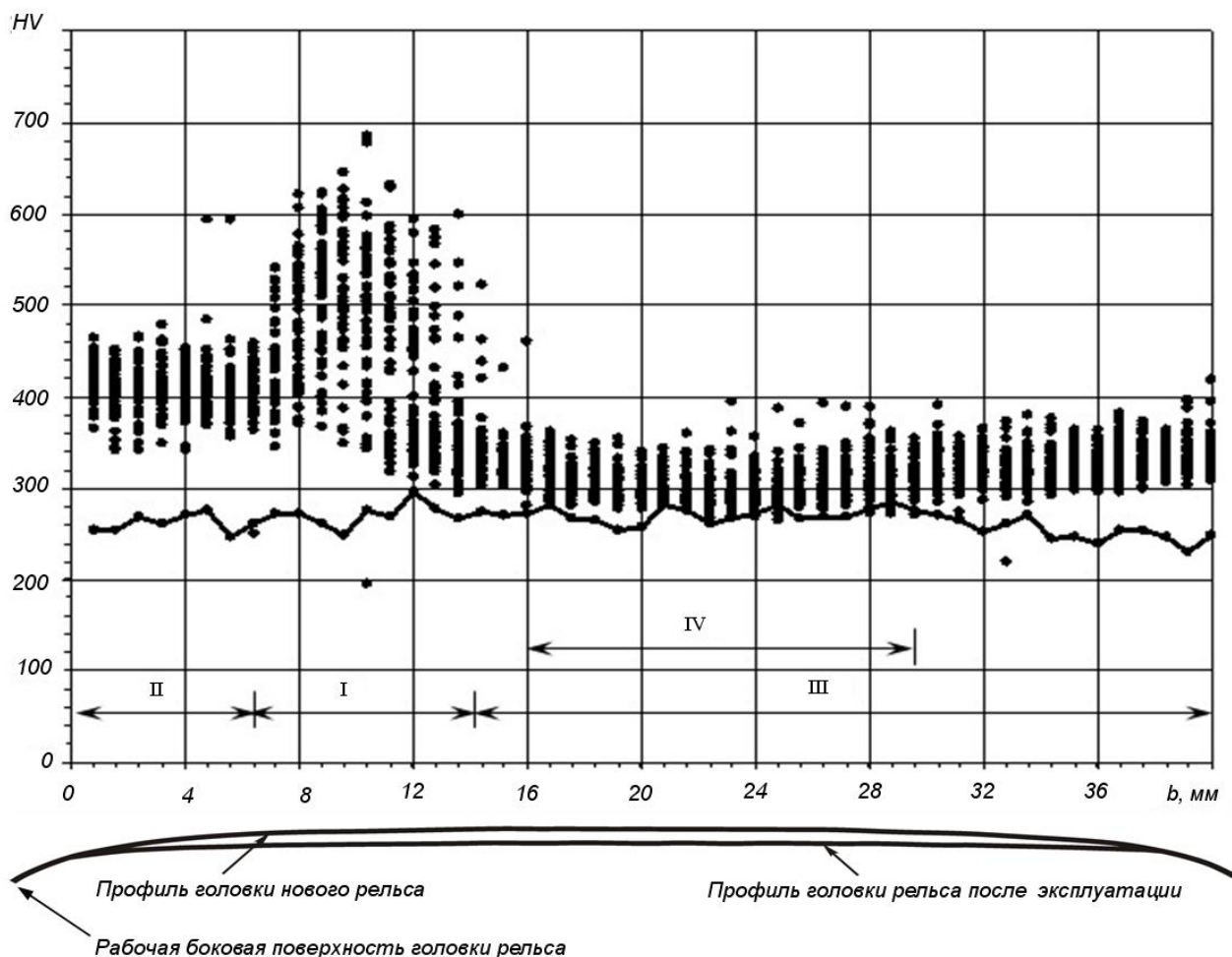


Рис. 2. Обобщенное распределение твердости по поверхности катания головки рельса из прямого участка, пропустившего нормативный тоннаж, и твердость до эксплуатации (ломаная линия)

Эта зона неравномерна по ширине головки катания и периодична по ее длине, другими словами, она – нестационарна. Поскольку твердость исходного материала не превышает 300 HV, то имеет место более чем двукратный рост твердости. Такое повышение твердости означает сильное упрочнение пластической деформацией тонкого поверхностного слоя. Но в результате большой остаточной деформации развиваются и процессы разупрочнения – она предвестник охрупчивания и разрушения материала. Понятно, что именно в зоне I следует ожидать в будущем образования ямок выкрашивания и интенсивного износа отслаиванием.

В зоне II твердость достигает значений порядка 450...460 HV и (редко) несколько выше, это примерно на 25 % ниже, чем в зоне I. Это тоже зона интенсивного остаточного деформирования, но ясно, что здесь можно говорить больше об упрочнении, чем разупрочнении пластической деформацией.

В зоне III твердость не превышает значений 400 HV; но в среднем она составляет

340...350 HV, т. е. немногим больше (примерно на 25...30 %) исходной твердости. Это, конечно, зона, где эксплуатационные повреждения в обозримом будущем не предвидятся.

Внутри зоны III обнаруживается зона IV, твердость в которой наименьшая. Это почти «здоровая» область деформирования, свойства материала здесь изменились незначительно (и притом, безусловно, улучшились).

Для рельса, вырезанного из кривого участка, твердость исследовалась как на поверхности катания, так и на боковой поверхности скольжения головки рельса. Обобщение статистических данных выполнено на рис. 3.

На поверхности катания головки рельса из кривого участка твердость распределена практически равномерно в интервале 300...400 HV. Легко заметить, что интервал распределения твердости близок тому, который наблюдается в зоне III для поверхности катания головки рельса из прямого участка (см. рис. 2). Кроме того, выделяется зона, в которой твердость наименьшая – зона IV.

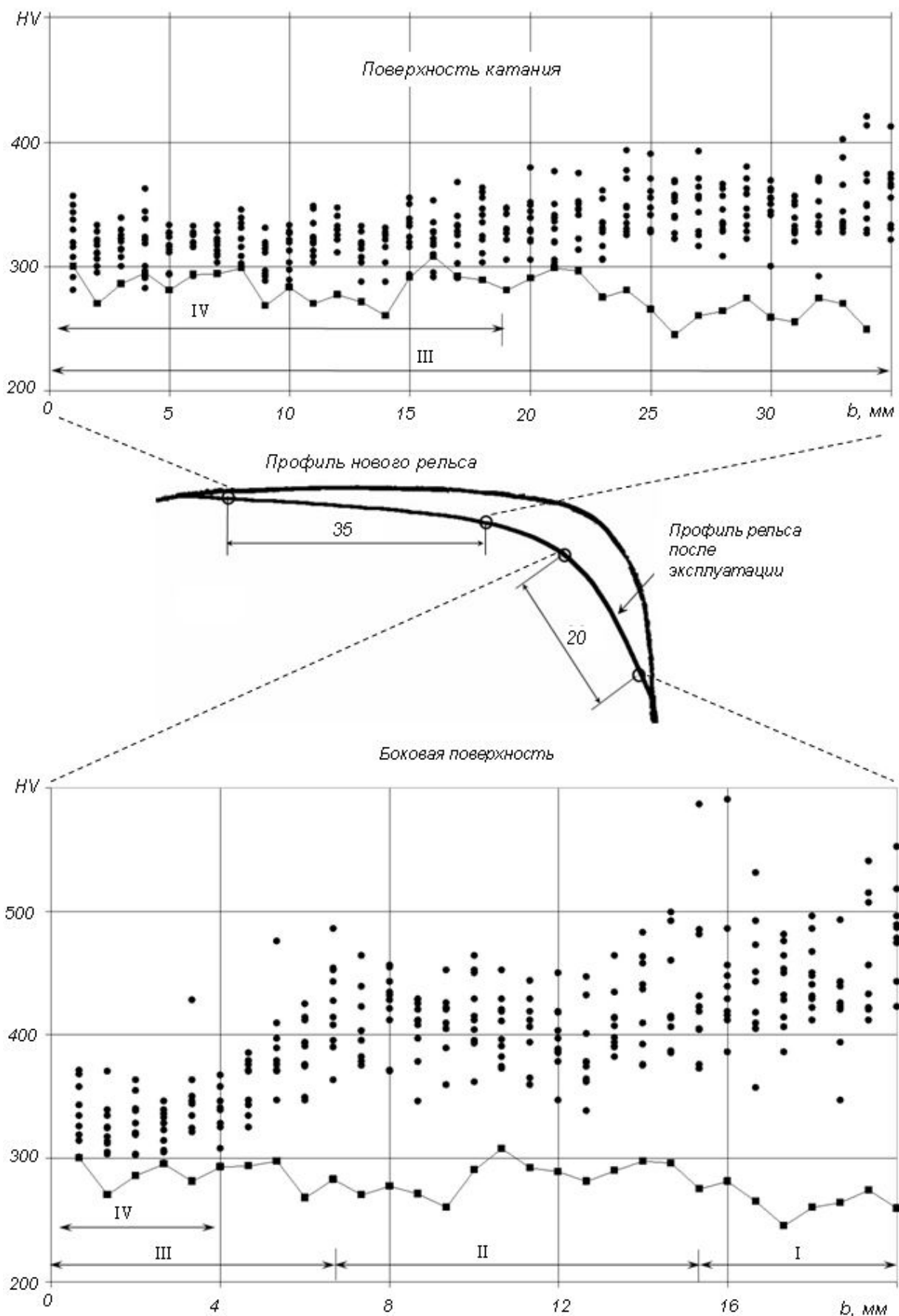


Рис. 3. Обобщенное распределение твердости по рабочим поверхностям головки рельса из кривого участка, пропустившего нормативный тоннаж, и твердость до эксплуатации (ломаная линия)

На боковой поверхности головки рельса закономерность иная: рассеяние твердости достигает 200 единиц, при этом наибольшая твердость (475...520 HV) обнаруживается в районе скольжения реборды колеса по рельсу. По величине твердости этот участок соответствует I зоне. Подобным образом выделяются: зона II с твердостью до 475 HV и зона III с твердостью

до 400 HV. Режим скольжения оказывается «тяжелее», чем режим качения с проскальзыванием – таково заключение.

Таким образом, на рабочих поверхностях головок рельсов, эксплуатировавшихся в различных условиях, обнаружены сходные зоны деформирования. Их параметры приводятся в таблице.

Таблица

Изменение твердости в характерных зонах поверхности головки рельсов

Зона	Среднее повышение твердости HV, %	Интервал значений твердости HV		
		Рельс из прямого участка	Рельс из кривого участка	
		поверхность катания	поверхность катания	боковая поверхность
I	175	>475	–	>475
II	150	401...475	–	401...475
III	30	325...400	325...400	325...400
IV	10	<325	<325	<325

Изучение изменения твердости в процессе эксплуатации недостаточно для оценки служебных свойств рельсов. Необходим обоснованный критерий, позволяющий установить, как далеко (или как близко) механическое состояние материала рельсов после пропуска нормативного тоннажа находится по отношению к предельному.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шур Е. А. Проверка качества рельсов // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 9.
2. Проблемы взаимодействия колеса и рельса. Материалы Международной конференции, 14–17 июня 1999 г. – М.: Интекст, 1999.

3. Лысюк В. С. Исследование причин увеличения контактно-усталостных отказов рельсов с ростом износа (проката) рельсов. – В кн.: Динамические характеристики механических систем / В. С. Лысюк, В. Ф. Барабошин, А. В. Лукьянов // Сб. научн. тр. ИТМ АН УССР. Киев: Наукова думка, 1984. – С. 83–91.
4. Лысюк В. С. Износ колес и долговечность рельсов / В. С. Лысюк, В. Ф. Барабошин, А. В. Лукьянов, Н. В. Шеф // Путь и путевое хозяйство. – 1984. – № 5. – С. 27–28.
5. Paul Barton. A review of rail wheel contact stress problems // Railroad Track. Mech. and Technol. Roc. Symp., Princeton N. J. 1975. Oxford, C.D. 1978. – pp. 323–351.
6. Kumar S., Rajkumar B. R. Laboratory investigation of wheel rail contact stresses for U.S. freight cars / Trans. ASME. – 1981. – № 2. – pp. 246–255.

Поступила в редколлегию 14.12.2005.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР СЪЕМКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ

Розглянута оцінка точності існуючих методів знімання кривих і надані рекомендації щодо її підвищення.

Рассмотрена оценка точности существующих методов съемки кривых и даны рекомендации по ее повышению.

The estimation of accuracy of existing methods of rail curves survey is considered and recommendations on its improvement are provided.

В процессе эксплуатации железнодорожные кривые теряют свои исходные геометрические очертания. Поэтому для их исправления выполняются съемка, расчеты по выправке и рихтовку.

Контроль текущего состояния кривой осуществляется по разности в смежных стрелах изгиба, измеренных от середины хорды постоянной длины. Исходя из этого Инструкцией ЦП-0050 [1] установлены соответствующие допуски. Капитальному ремонту путей предшествует инструментальная съемка кривых способом И. В. Гоникберга.

Исследования, выполненные ранее Х. М. Рапопортом, А. К. Дюниным, С. И. Матвеевым и др., о влиянии ошибок измерений на результаты определения величин сдвигов показывают их существенное влияние независимо от того, каким способом снята кривая и по какой методике (эвольвент или нормалей) выполнены расчеты. В [2] приведены расчеты определения наибольшей возможной ошибки нормали в середине кривой длиной 1 000 м, которая составляет 1 164 мм. В работах [2–4] приведены результаты исследований о точности измерений и ее влиянии на результаты расчетов. В условиях роста скоростей и применения САПР вопрос точности измерений становится особенно актуальным.

Анализ методов расчета кривых показывает, что требуемая точность может быть обеспечена только при координатном методе расчета, когда в качестве исходных данных используются координаты отдельных точек кривой [5]. В то же время современные методы расчетов и проектирования реконструкции кривых требуют достаточно точного значения координат всех точек деления кривой.

Целью данной работы является анализ точности определения координат точек железнодорожной кривой, а также определение оптимального соотношения точности угловых и линейных измерений при технологически приемлемых их параметрах.

Рассмотрим традиционные способы съемки кривых (способ стрел и способ И. В. Гоникберга) и выполним оценку точности вычисления координат, получаемых по результатам натуральных измерений, матричным методом.

При числе измеренных величин большем числа необходимых к вычислению, определяются средние значения, независимо от физической сущности аргументов. Например, для вычисления координат могут использоваться координаты исходных точек, углы, расстояния и пр. В результате вычисляются и уточненные значения исходных координат и координаты вновь определяемых точек. Уточненное значение исходных координат выполняется в том случае, если прежняя точность их определения существенно ниже точности выполненных натуральных измерений. Решение об их уточнении производится в процессе вычисления координат всех точек хода. Требуется лишь знать дисперсионную (в общем случае – ковариационную) матрицу всех входных данных. Разумеется, что как для оценки точности, так и для последующих уточняющих или контрольных измерений, средние значения должны сопровождаться их дисперсионной матрицей [6].

Корреляционная матрица координат вычисляется стандартно

$$K_{xx} = A \cdot K_{\ell\ell} \cdot A^T, \quad (1)$$

где ℓ – вектор измеренных величин; x – вектор определяемых координат; A – матрица производных $\partial x / \partial \ell$ (координат по измеренным величинам); $K_{\ell\ell}$ – дисперсионная матрица измеренных величин; A^T – транспонированная матрица производных.

Если входные величины независимы и равноточны, их ковариационная матрица вырождается в единичную со скалярным множителем σ_ℓ^2 .

В случае, когда число входных величин больше числа выходных, средние значения координат вычисляются через матрицу параметров $B = \partial l / \partial x$, а ковариационная матрица вычисляемых координат точек деления пути имеет вид:

$$K_{xx} = (B^T \cdot K_{\ell\ell}^{-1} \cdot B)^{-1}. \quad (2)$$

Известно, что параметрический метод вычисления средних значений и оценки точности является технологичным и универсальным [6].

Оценим точность съемки кривых способом стрел. Особенностью съемки кривой способом стрел является однородность измеряемых величин (откладывание по рельсу отрезков постоянной длины 5 или 10 м и измерение стрел изгиба от середины хорды постоянной длины соответственно около 10 или 20 м) практически с постоянным соотношением точности измеряемых величин.

В геодезическом понимании координаты снимаемых точек определяются методом трилатерации. В данном случае измеряются все стороны смежных очень вытянутых треугольников (рис. 1). Благоприятные условия непосредственных измерений практически на горизонтальной плоскости с учетом рекомендаций, изложенных в [5], обеспечивают надежность результатов.

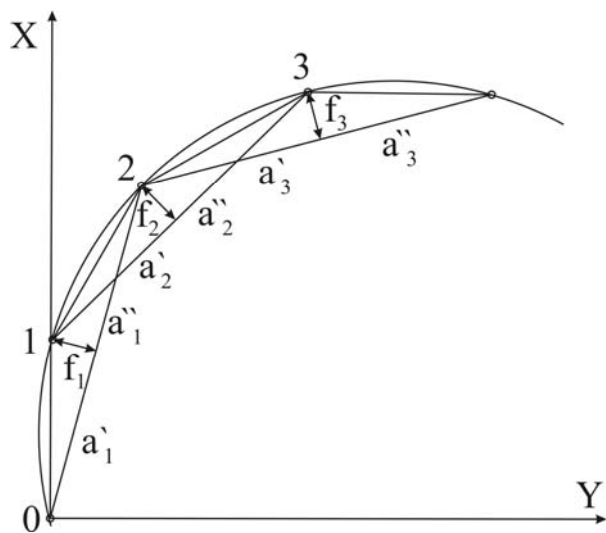


Рис. 1. Съемка кривой методом стрел

Разбивка точек деления пути производится со стандартной ошибкой не более 1 мм, измерение стрел изгиба – 1 мм. Можно положить, что $\sigma_a = 1$ мм и $\sigma_f = 1$ мм – реальные оценки ошибок измерений.

Условные координаты конечной точки разбивки кривой вычисляются по формулам:

$$X_k = \sqrt{(a'_1)^2 + f_1^2} + \sum_1^i \left\{ \sqrt{(a'_i)^2 + f_i^2} \cos \times \times \left[\sum_1^i \left(\arctg \frac{f_i}{a'_i} + \arctg \frac{f_i}{a''_i} \right) \right] \right\}; \quad (3)$$

$$Y_k = \sum_1^i \left\{ \sqrt{(a'_i)^2 + f_i^2} \sin \times \times \left[\sum_1^i \left(\arctg \frac{f_i}{a'_i} + \arctg \frac{f_i}{a''_i} \right) \right] \right\}, \quad (4)$$

где f_i – измеренные стрелы изгиба; a'_i, a''_i – проекции отрезков деления железнодорожного пути

Произведем оценку точности получения координат описываемым способом измерений. Практически можно положить, что a'_i и a''_i равны.

Дифференцируя выражения (3) и (4) по f_i , a'_i и полагая стандартные ошибки измеряемых величин соответственно σ_f и σ_a , получим

$$\sigma_{X^{(i)}}^2 = \frac{1}{M_S^2} \left[\sum_1^i (X_j - X_{j-1})^2 \right] + \frac{4}{M_f^2} \left[\sum_1^i (Y_i - Y_j)^2 \right]; \quad (5)$$

$$\sigma_{Y^{(i)}}^2 = \frac{1}{M_S^2} \left[\sum_1^i (Y_j - Y_{j-1})^2 \right] + \frac{4}{M_f^2} \left[\sum_1^i (X_i - X_j)^2 \right], \quad (6)$$

где $1/M_S$ – относительная ошибка разбивки точек деления пути; $1/M_f$ – относительная ошибка измерения стрел изгиба, равная отношению длины отрезка разбивки пути к стандартной ошибке измерения стрел изгиба, т. е. a/σ_f ; X_j, Y_j – координаты текущих точек хода; X_i, Y_i – координаты оцениваемых точек хода.

Например, при длине кривой 800 м, разбивка которой выполнена через 10 м, число точек составит 80; приняв $\sigma_a = 1$ мм, $\sigma_f = 1$ мм, получим стандартные (теоретические средние квадратические) ошибки координат точки в середине кривой: $\sigma_Y = 56$ мм, $\sigma_X = 9$ мм.

Оценим точность съемки кривых способом И. В. Гоникберга. В этом способе полигонометрический ход прокладывается по узловым точкам делений пути, например, через 100 м (рис. 2), и вычисляются их координаты. Координаты остальных точек делений кривой определяются боковым нивелированием, по методике изложенной в [5], от линий полигонометрического хода (рис. 3).

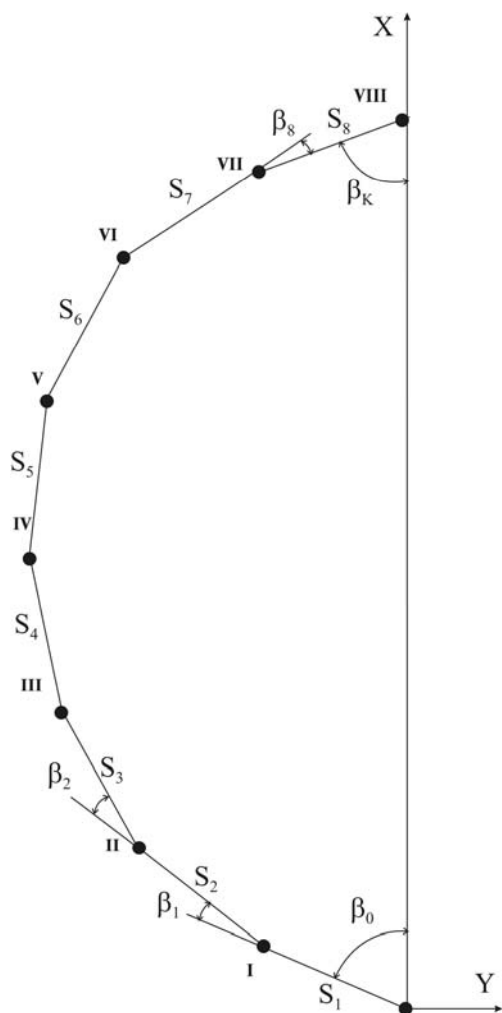


Рис. 2. Полигонометрический ход при съемке И. В. Гоникберга

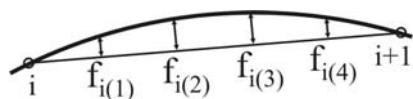


Рис. 3. Измерение стрел боковым нивелированием

В связи с достаточной точностью бокового нивелирования ($\sigma_f = 1$ мм) ошибки в положении этих точек определяются фактически лишь ошибками координат узловых точек. Следуя принципу «равного влияния» ошибок измерения расстояний и углов, можно предварительно вычислить оптимальное соотношение точностей угловых и линейных измерений из предположения, что стандартная ошибка в длине секции равна

$$\sigma_S = \frac{a \cdot \sqrt{k}}{M_a}, \quad (7)$$

где σ_S – стандартная ошибка в длине секции; a – длина отрезка разбивки пути; k – длина секции в отрезках разбивки пути;

$$M_a = a / \sigma_a,$$

σ_a – стандартная ошибка разбивка точек деления пути.

Поэтому соотношение точности угловых и линейных измерений определяется равенством

$$\frac{\sigma_\beta}{\rho} = \frac{\sqrt{k}}{k \cdot M_a}, \quad (8)$$

где σ_β – стандартная ошибка измерения углов, $\rho = 206\,265''$.

При ориентировочной длине секции 100 м ($k = 5$) получаем около $9''$. Следовательно, измерение углов необходимо выполнять теодолитом с точностью не ниже, чем у Т5.

Если координаты точек деления пути определяются в системе начальная – конечная точки съемки, то ошибки в ординатах начальной и конечной точек равны нулю, а наибольшие ошибки будут в точках деления пути, лежащих вблизи середины снимаемой кривой. Длины секций k b a определяются, в основном, приемлемой величиной наибольшей стрелы. Например, при $a = 20$ м, $k = 5$ и $R = 1000$ м $f_{\max} = 1250$ мм, а уже при $k = 8$, $f_{\max} = 3\,200$ мм. Положив $f_{\max} < b$, определяем величину k_{\max} по формуле

$$b \geq R \left\{ 1 - \cos \left[k \cdot \arcsin \left(\frac{a}{2R} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Так как b существенно меньше радиуса кривой, можно применить приближенную формулу

$$b \geq R \left[1 - \cos \left(\frac{k \cdot a}{R} \right) \right]. \quad (10)$$

При величине $b > 2$ м измерения становятся нетехнологичными, так что возможные значения длин секций в k при радиусах кривой 500...2 000 м наиболее целесообразны 4...6. Кроме того, увеличение $k \cdot a$ уменьшает точность бокового нивелирования вследствие боковой рефракции и других факторов.

Итак, пусть в полигонометрическом ходе, состоящем из n секций, расстояния S измеряются с относительной стандартной ошибкой $1/M_S$, а все углы поворотов измеряются равно точно со стандартной ошибкой σ_β / ρ .

Модуль угла β_0 , составленного начальной линией полигонометрического хода с осью абсцисс, вычисляется по формуле

$$\beta_0 = \arctg \left[\frac{\sum_1^n S_j \cdot \sin \left(0 + \sum_1^n \beta_{j-1} \right)}{\sum_1^i S_j} \times \cos \left(0 + \sum_1^n \beta_{j-1} \right) \right], \quad (11)$$

где S_j – горизонтальные проложения линий полигонометрического хода; β_{j-1} – углы поворота; j – принимает значение $1, 2, 3 \dots n$, а дирекционный угол i -й линии хода равен:

$$\alpha_i = \sum_1^i \beta_{j-1} - \beta_0. \quad (12)$$

Используя методику теодолитного хода, координаты узловых точек вычисляются по формулам:

$$X_i = \sum_1^i \left(\sum_1^{k_j} \sqrt{a^2 - (f_j - f_{j-1})^2} \cos \sum_1^i \beta_j \right); \quad (13)$$

$$Y_i = \sum_1^i \left(\sum_1^{k_j} \sqrt{a^2 - (f_j - f_{j-1})^2} \sin \sum_1^i \beta_j \right). \quad (14)$$

Координаты точек делений пути, находящихся внутри секций, вычисляются по формулам:

$$X_{ij} = X_i + \sum_1^{i+1} \sqrt{a^2 - (f_j - f_{j-1})^2} \times \cos \sum_1^{i+1} \beta_j + f_j \cdot \cos \left(\sum_1^{i+1} \beta_j - \frac{\pi}{2} \right); \quad (15)$$

$$Y_{ij} = Y_i + \sum_1^{i+1} \sqrt{a^2 - (f_j - f_{j-1})^2} \times \sin \sum_1^{i+1} \beta_j + f_j \cdot \sin \left(\sum_1^{i+1} \beta_j - \frac{\pi}{2} \right), \quad (16)$$

где a – длина отрезка разбивки кривой; f_j – стрелы, измеренные боковым нивелированием; β_j – углы поворота секций хода.

Выполнив дифференцирование (13) и (14) по аргументам измеренных величин и исполнив (1), получим формулы для расчета дисперсий координат X и Y точек полигонометрического хода:

$$\sigma_{X(i)}^2 = \frac{1}{M_S^2} \sum_1^i \left[(X_j - X_{j-1})^2 \left(1 - \frac{Y_j}{Y_K} \right)^2 \right] + \frac{\sigma_\beta^2}{\rho^2} \sum_1^i \left(Y_j - Y_i \frac{X_j}{X_K} \right)^2; \quad (17)$$

$$\sigma_{Y(i)}^2 = \frac{1}{M_S^2} \sum_1^i \left[(Y_j - Y_{j-1})^2 \left(1 - \frac{X_i}{X_K} \right)^2 \right] + \frac{\sigma_\beta^2}{\rho^2} \sum_1^i \left[X_j^2 \left(1 - \frac{X_i}{X_K} \right)^2 \right]. \quad (18)$$

Из (17) и (18) следует, что обе дисперсии в начальной точке хода равны нулю, а в конечной нулю равна лишь дисперсия ординаты. Если полигонометрический ход симметричен, то ордината в его середине имеет наибольшую расчетную ошибку.

Пусть, например, проектируется съемка кривой длиной 800 м радиусом 1 000 м с относительной стандартной ошибкой измерения стометрового участка кривой рулеткой 1/10 000, а углы поворота планируется измерять со стандартной ошибкой около 1/40 000 ($5''/206265''$) теодолитом Т5. В полигонометрическом ходе 8 секций, поэтому наибольшая вероятная ошибка будет в ординате узловой точки номер IV (см. рис. 2). Расчеты дисперсий координат этой точки по (17) и (18) дают квадраты стандартных вероятных ошибок, округленные до целых мм

$$\sigma_x^2 = 20^2 + 2^2 \quad \text{и} \quad \sigma_y^2 = 5^2 + 7^2.$$

Как видим, сравнительно малая точность измерения расстояния (первое слагаемое) сказалась на точности определения абсциссы в узловой точке.

Практики полагают, что стандартная ошибка разбивки делений пути составляет около 2 мм, тогда стандартная ошибка n отрезков составит $2\sqrt{n}$. Тем самым стометровый отрезок кривой якобы разбивается с относительной стандартной ошибкой равной 1/20 000. Реально стандартные ошибки разбивки, как приведено выше, составляют примерно 1/10 000. Из примера видно, что принятое соотношение измерения углов и расстояний, примерно 1:4, обеспечивает равное влияние на точность определения координат точек деления кривой. К тому же, при малой кривизне пути величина стандартной ошибки по оси X не имеет существенного значения.

Стандартная программа обработки данных параметрическим способом требует всего лишь

ввода координат (в общем случае – приближенных) и ковариационной матрицы измеренных величин K .

Выполнив вычисления по формуле (2), получаем элементы матрицы K , приведенные в таблице.

Таблица

Элементы матрицы K_{XX} , в мм²

	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6	X7	Y7	X8
X1	92	-25	94	-20	95	-15	95	-13	94	-1	93	0	92	0	91
Y1		22	-22	28	-21	31	-22	29	-22	24	-23	18	-24	9	-25
X2			192	-36	193	-29	193	-24	191	-2	190	0	188	0	185
Y2				49	-34	55	-35	54	-36	44	-38	32	-40	17	43
X3					292	-40	292	-34	290	-1	289	0	286	1	283
Y3						69	-42	71	-43	59	-46	44	-51	24	-55
X4							392	-41	389	1	388	2	385	2	382
Y4								77	-43	67	-48	51	-55	28	-63
X5									486	3	485	3	483	2	480
Y5										69	-5	53	-15	30	-27
X6											582	8	581	4	580
Y6												49	-7	28	-24
X7													676	9	8
Y7														22	-15
X8															772

Ввиду того, что ковариационная матрица координат симметрическая, ее поддиагональные элементы здесь опущены. Углы и расстояния, принятые в примере, измерены с разной точностью, так что стандартная ошибка абсциссы точки IV сравнительно велика (около 27 мм) по отношению к ошибке ординаты этой же точки (около 9 мм).

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, насколько взаимосвязаны между собой вычисляемые координаты всех точек. Поэтому оценка точности любых величин, определяемых по координатам, была бы существенно неверной без учета этих связей.

Дисперсия разности координат ($Y_i - Y_j$) вычисляется по формуле (19)

$$\sigma_{Y_i - Y_j}^2 = \sigma_{Y_i}^2 + \sigma_{Y_j}^2 - 2K_{Y_i Y_j}. \quad (19)$$

Например, для разности ординат точек III и IV получим: $69 + 77 - 2 \cdot 74 = 4$ мм². Из примера следует, что стандартная ошибка этой разности составляет всего лишь 2 мм, а это, в свою очередь, показывает достаточно высокую точность определения взаимного положения смежных точек. Если же не учитывать их ковариацию, то

ошибка взаимного положения смежных точек составит 12 мм, что совершенно не соответствует реальной точности измерений.

Выводы

1. Способ стрел не обеспечивает необходимой точности определения координат точек делений железнодорожного пути.
2. При съемке железнодорожных кривых способом И. В. Гоникберга для измерения углов полигонометрического хода необходимо использовать теодолит типа Т5 или соответствующие по точности электронные тахеометры.
3. Соотношение точности угловых и линейных измерений (не более 1:4) должно обеспечивать равное влияние на ошибки координат снимаемых точек кривой.
4. Для полевого контроля угловых измерений полигонометрический ход необходимо «замыкать».
5. Боковое нивелирование точек разбивки пути целесообразно выполнять дважды «вперед» и «назад» в одних и тех же точках деления пути, с обязательным «покачиванием» рейки; разность в измерениях не должна превышать расчетного допуска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. ЦП/0050. – К.: Транспорт України, 1999.
2. Дюнин А. К. Вопросы теории проектирования железнодорожных кривых / А. К. Дюнин, Д. Г. Ковтун, В. И. Ангелейко. Сиб. Отд. АН СССР. – Новосибирск, 1960. – 174 с.
3. Рапопорт Х. М. К вопросу о влиянии ошибок измерений на результаты определения сдвига по методу разностей эвольвент // Тр. ДИИТа. – Д. – 1947. – Вып. XVII.
4. Корженевич И. П. Расчет переустройства кривых в декартовой косоугольной системе координат // Вопросы проектирования и строительства железных дорог: Тр. ДИИТа. – 1976. – Вып. 176/5. – С. 82–88.
5. Корженевич И. П. Обеспечение точности съемки кривых при возрастании скоростей движения поездов // Вісник наук. пр. ДИИТа. – 2003. – Вып. 2, – С. 174–177.
6. Машимов М. М. Уравнивание геодезических сетей. – М.: Недра, 1979. – 367 с.

Поступила в редколлегию 18.11.2005.

ОРГАНІЗАЦІЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РУХОМОГО СКЛАДУ З ПРИМУСОВИМ НАХИЛОМ КУЗОВА ВАГОНІВ

Проведений аналіз і визначена сфера застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів.

Проведен анализ и установлена сфера применения подвижного состава с принудительным наклоном кузова вагонов.

An analysis has been conducted and the scope of usage has been established of rolling stock with a forced car body tilt.

Сучасний стан і перспективи створення вітчизняного рухомого складу

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

Якщо організація швидкісного руху (161...200 км/год) для України найближча перспектива, то впровадження прискореного руху (140...160 км/год) – це уже минуле. У 2002 р. було відкрито рух денних експресів на напрямку Київ–Харків, у 2003 р. денні експреси були впроваджені на ділянці Київ–Дніпропетровськ, а з 1 серпня 2005 р. між Києвом і Москвою курсує «Столичний експрес». У січні 2006 р. відкрив-

ся рух денних експресів між Кременчугом і Києвом. Найближчим часом з використанням прискорених денних поїздів столиця буде зв'язана з усіма основними регіонами України.

На вищевказаних напрямках найбільша маршрутна швидкість становить 90...92 км/год, що в 1,3...1,5 разу нижче ніж у сусідніх країнах. Досягти більшої маршрутної швидкості тільки за рахунок перерозподілу поїздопотоків на мережі, вдосконалення графіка руху поїздів, раціонального використання наявних технічних засобів (організаційно-технологічні заходи) неможливо, а тому необхідно впроваджувати більш дорогі заходи – модернізацію залізниці, що включає заміну верхньої будови колії, дефектних штучних споруд та інших пристроїв залізниці, перебудову кривих. Вартість таких заходів залежить від рівня встановленої максимальної швидкості та інших характеристик того чи іншого напрямку (рис. 1, 2).

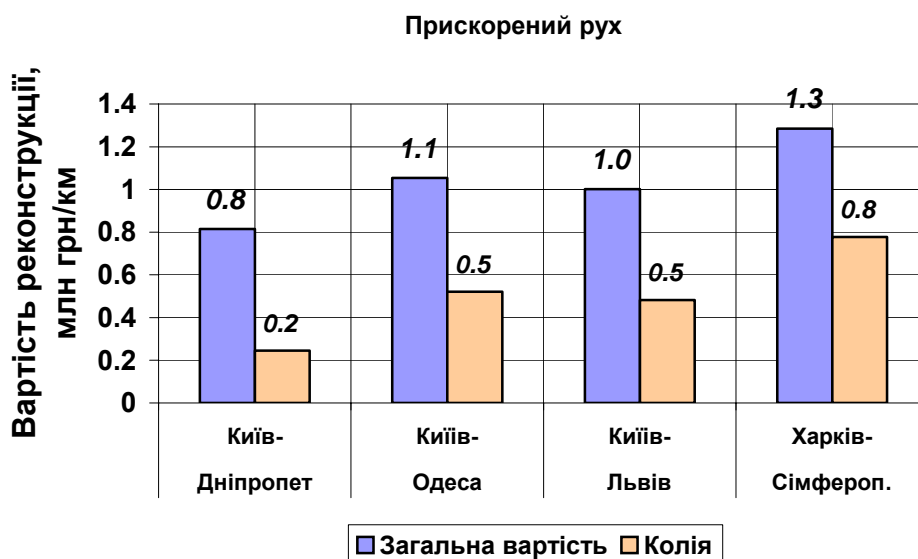


Рис. 1. Вартість реконструкції залізниці для впровадження прискореного руху поїздів

Швидкісний рух

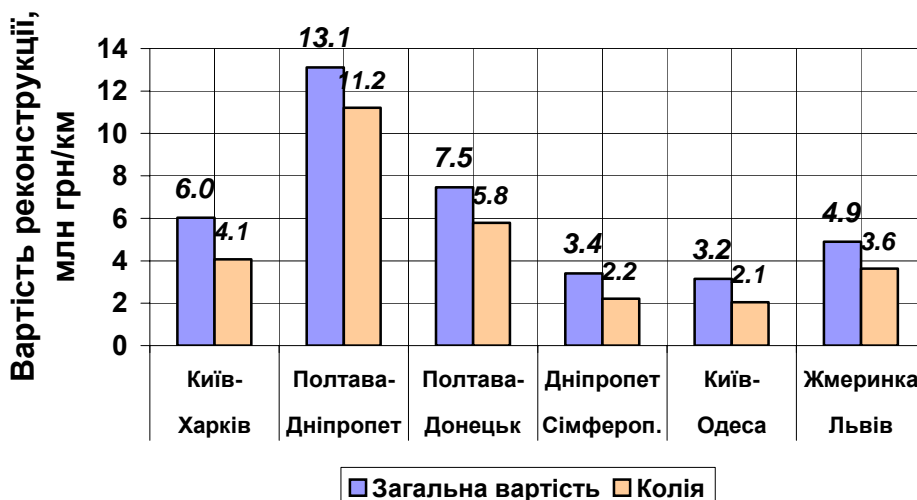


Рис. 2. Вартість реконструкції залізниці для впровадження швидкісного руху поїздів

Як видно з наведених гістограм, що побудовані за даними Укрзалізниці, перехід на швидкісний рух потребує на порядок більших капітальних вкладень.

Серед пріоритетних напрямків модернізації залізниць на наступні роки названі відновлення колійного господарства і рухомого складу [2]. Передбачено у 2006 р. виконати 1 200 км, у 2007 р. – 1 500 км капітально-відновлювального ремонту колії.

Через загальне обмеження інвестицій у розвиток транспортного машинобудування проблема оновлення парку тягового рухомого складу буде вирішуватися за такими основними напрямками: підвищення ефективності використання існуючого рухомого складу, розробка і закупівля рухомого складу нового покоління [3].

Перший напрямок. Передбачається на базі електровоза ДС3 у короткий термін розробити й виготовити універсальний восьмивісний двосистемний (постійно-змінного струму) вантажо-пасажирський електровоз типу ДС4 для експлуатації в складі швидкісних поїздів замість односистемних електровозів типу ЧС7 і ЧС8.

Електровоз ДС4 зможе вести по транспортних коридорах залізниць України пасажирські поїзди далекого прямування (20...24 вагонів) зі швидкістю до 160 км/год, контейнерні й контейнерні – до 140 км/год. При цьому електровоз ДС4 проходитиме увесь транспортний коридор без відчеплення від поїзда й без зупинок на станціях стикування різних систем струму, що дозволить значно збільшити маршрутні швидкості та скоротити час руху поїздів. Завдяки універсальності та можливості роботи на вели-

ких тягових плечах (більше 1 000 км), цей електровоз матиме у 1,5...2 рази вищу продуктивність, ніж односистемні електровози. Це означає, що для заданого обсягу перевезень пасажирів або вантажів буде потрібна менша кількість електровозів. При цьому слід зазначити, що вартість однієї секції електровоза ДС4 буде всього на 3,2 % вища за вартість односистемного електровоза ДС3 (22,8 млн грн). Крім того, кожна секція електровоза ДС4 зможе працювати як самостійний чотиривісний локомотив, а на з'єднання та роз'єднання секцій буде витрачатися всього кілька хвилин.

Використання двосистемного електровоза ДС4 у пасажирському русі в напрямку Київ–Крим дозволить без додаткових витрат вирішити проблему стикування ділянок Київ–П'ятихатки (змінний струм) з П'ятихатки–Дніпропетровськ–Сімферополь (постійний струм), а також на ділянках Київ–Львів (змінний струм) і Львів–Мостиська (постійний) та інших напрямках.

У 2005 р. на «Лугансктепловоз» створено перший вітчизняний тепловоз ТЕП 150, який проходить випробування на ділянці Сімферополь–Інкерман-П і може розвивати швидкість до 160...180 км/год на прямих ділянках колії [4]. Проїшла презентація першого дослідного зразка вантажного електровоза 2ЕЛ5. Цей локомотив розроблений «Лугансктепловозом» разом з Новочеркаським електровозобудівним заводом [5]. Оснащення електровоза сучасною кабіною зменшує опір руху і сприяє підвищенню швидкості до 120 км/год.

Оновлення парку вагонів та локомотивів дозволить здійснити пріоритетну програму Укрзалізниці з розвитку швидкісного руху.

Другий напрямок – це закупівля чи виробництво в Україні рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів. Перевага таких поїздів полягає в тому, що за рахунок конструктивної особливості вони здатні з більш високими швидкостями, ніж звичайний рухомий склад, проходити криві ділянки.

З досвідом впровадження швидкісного руху з застосуванням поїздів типу Pendolino на залізницях Фінляндії представники Укрзалізниці ознайомились ще в 2003 р. і надали пропозиції провести техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження на залізницях України поїздів з вагонами, що обладнані пристроями нахилу кузова. У тому ж році в нашу країну прибули італійські фахівці з метою вивчити можливість експлуатації поїздів з нахилом кузовів вагонів на залізницях України. Пізніше, у 2005 р. була поставлена конкретна задача – проаналізувати можливість впровадження швидкісних поїздів типу Pendolino на ділянках Київ–Полтава–Харків і Київ–Дніпропетровськ–Донецьк.

Італійський поїзд Pendolino має в складі вагони першого класу, бізнес-класу і вагон для перевезення інвалідів. Бортовий комп'ютер керує рухом поїзда, швидкістю, зупиняє його і т. д., а на машиністів покладений контроль. Такий поїзд коштує до 25 млн євро. Якщо ж буде налагоджене аналогічне виробництво в Україні, то коштуватимуть вони значно менше. Ство-

рення проекту фінансується двома державами – Італією й Україною. Якщо цей проект буде реалізовано на практиці, то щоб доїхати з Харків до Києва знадобиться всього три години вважає представник італійських залізничних компаній NB Progetti і ICQSE Луіджі Джуліані [6].

Щоб підтвердити чи спростувати наведені вище дані, необхідно визначити ефект від застосування поїздів з примусовим нахилом кузовів вагонів. У роботі [7] наводяться дані щодо можливості збільшення швидкості (ΔV) на напрямку Берлін–Мюнхен: на ділянках Ерланген–Ліхтенфельс $\Delta V = 0$, Ліхтенфельс–Хохштадт–Марктцойльн $\Delta V = 10$ км/год, Хохштадт–Марктцойльн–Заальфельд – $\Delta V = 40$ км/год. З цього прикладу видно, що висновки щодо збільшення швидкості руху поїздів типу Pendolino і скорочення часу руху можна робити тільки після детальних досліджень конкретних ділянок.

Аналіз залізничних напрямків

У процесі вирішення поставленої задачі був досліджений вплив параметрів плану і типу рухомого складу (українського й закордонного) на рівень маршрутної швидкості. У даній роботі оцінюються дві різних, але з точки зору кінцевих пунктів однакових ділянок: Київ–Полтава–Дніпропетровськ (північний напрямок) і Київ–П'ятихатки–Дніпропетровськ (південний напрямок), рис. 3.

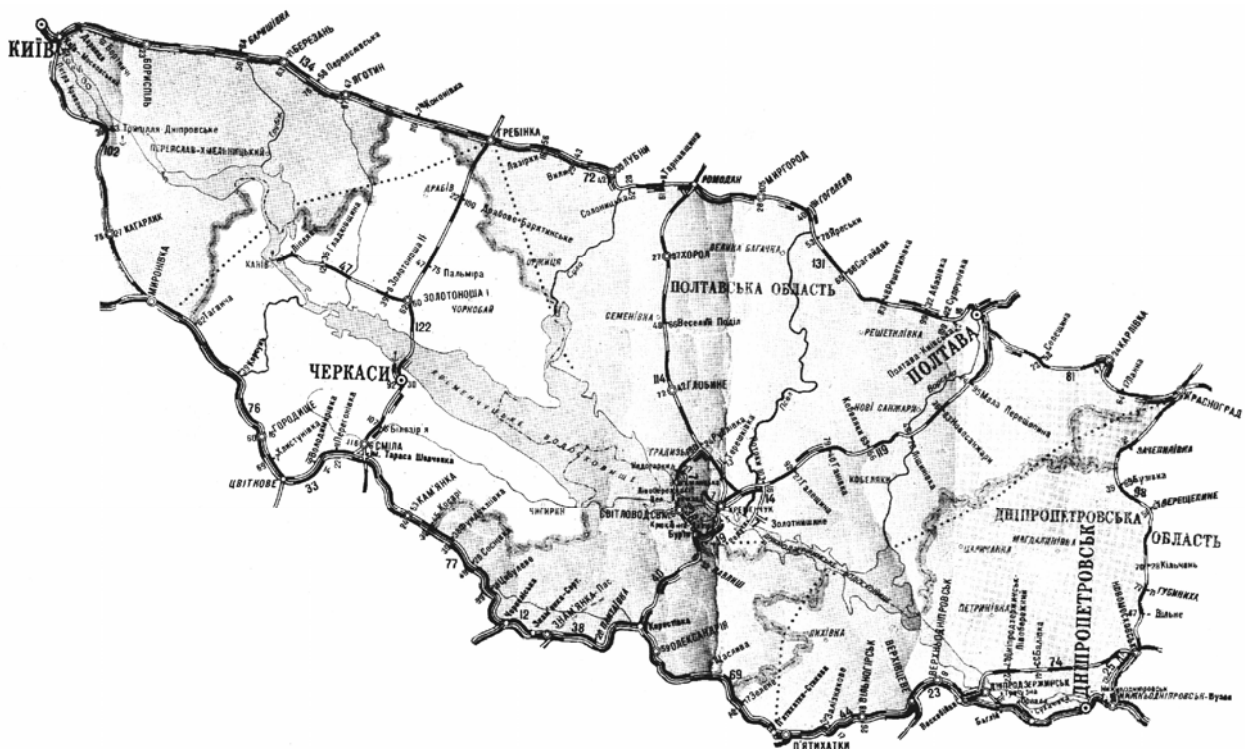


Рис. 3. Схеми північного Київ–Полтава–Дніпропетровськ і південного Київ–П'ятихатки–Дніпропетровськ напрямків

Частки одноколієних, двоколієних і електрифікованих ділянок від експлуатаційної довжини напрямків наведені в табл. 1.

Щоб урахувати частоту розташування кривих, їхні параметри і взаємний вплив, а також крутизну підйомів на поздовжньому профілі,

напрямки, що досліджуються, були розбиті на окремі ділянки. Гістограми розподілу уклонів поздовжнього профілю і радіусів кривих для північного напрямку наведені на рис. 4 і 5, а для південного напрямку – відповідно на рис. 6 і 7.

Таблиця 1

Технічне оснащення напрямків

Ділянка	Довжина, км	Частка від експлуатаційної довжини, %		
		одноколієних	двоколієних	електрифікованих
Північний напрямок				
Київ–Полтава	338,0	31,9	68,1	100,0
Полтава–Красноград–Дніпропетровськ	207,8	59,0	41,0	16,2
Південний напрямок				
Київ–Миронівна–Дніпропетровськ	531,0	20,3	79,7	100,0

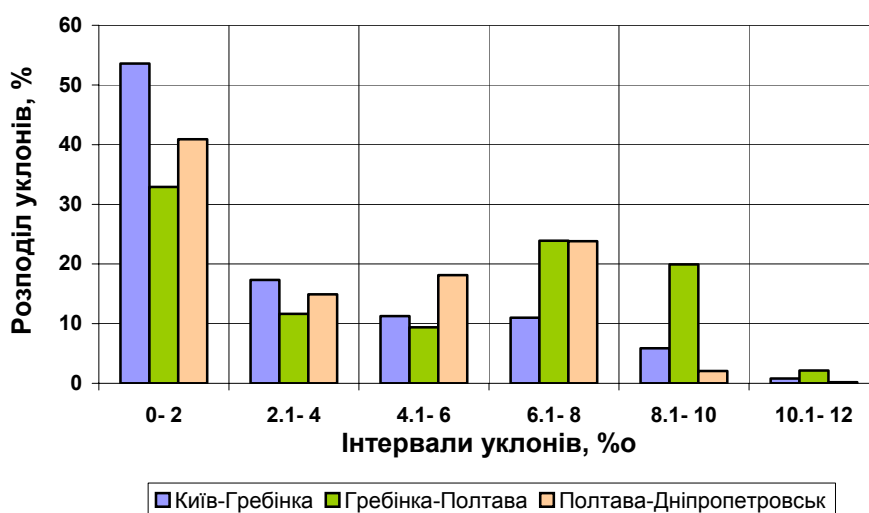


Рис. 4. Гістограма розподілу уклонів поздовжнього профілю на напрямку Київ–Полтава–Дніпропетровськ

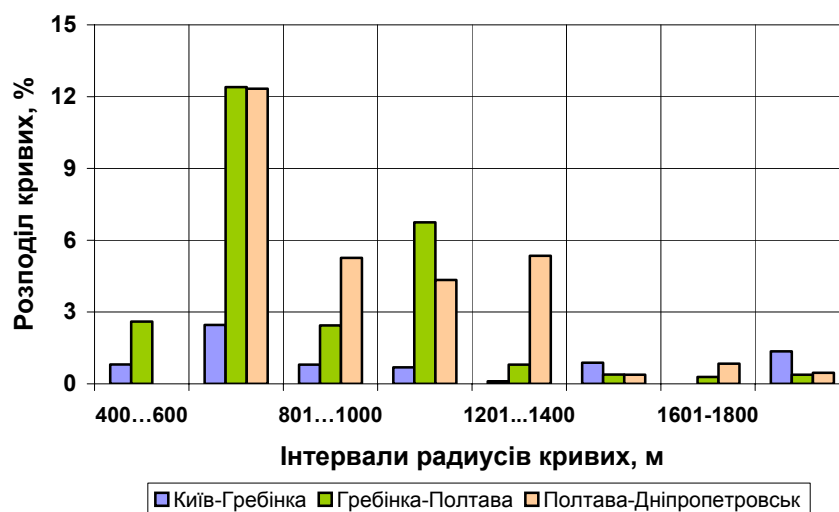


Рис. 5. Гістограма розподілу радіусів кривих на напрямку Київ–Полтава–Дніпропетровськ

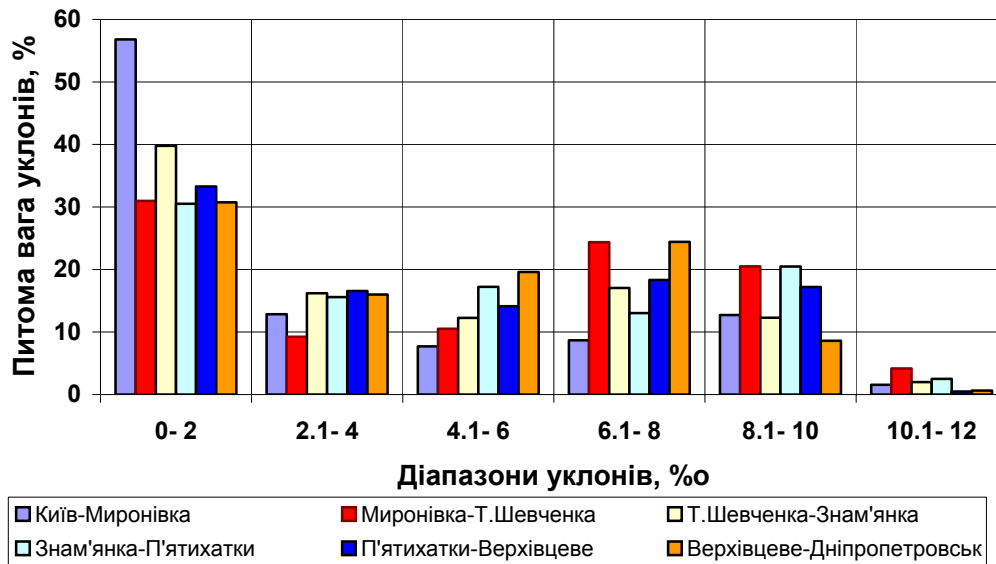


Рис. 6. Гістограма розподілу уклонів поздовжнього профілю на напрямку Київ–П'ятихатки–Дніпропетровськ

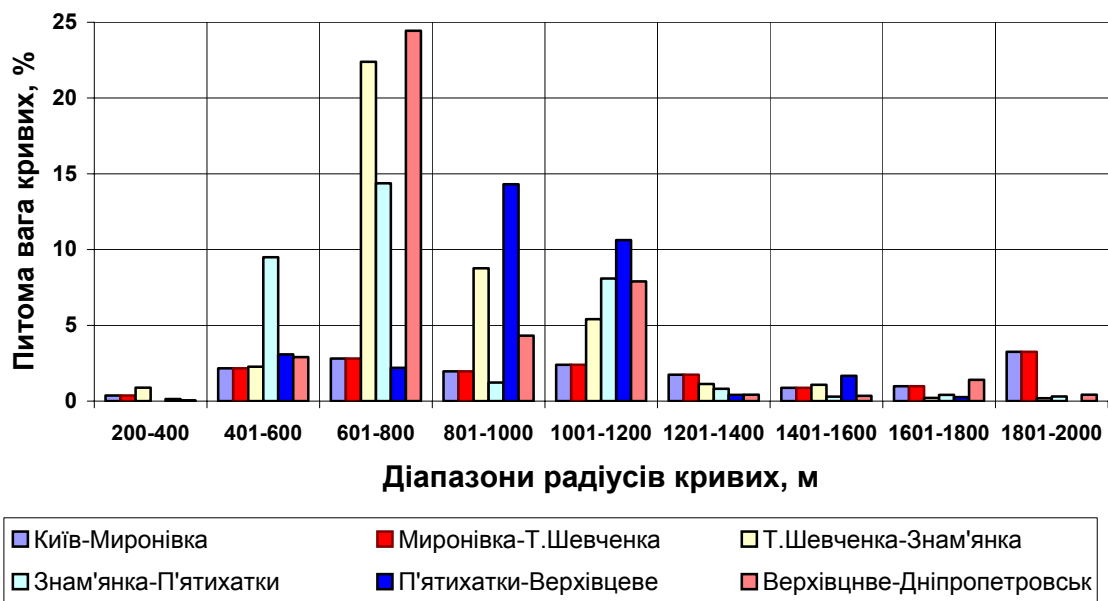


Рис. 7. Гістограма розподілу радіусів кривих на напрямку Київ–П'ятихатки–Дніпропетровськ

Аналіз параметрів профілю показав, що при рухомому складі масою, що прийнята для поїздів типу Pendolino – до 500 т, круті уклони практично не обмежують максимальну швидкість руху ($V = 160$ км/год забезпечується на підйомах до 10 %, $V = 200$ км/год – на підйомах до 5 %).

Оскільки переваги таких поїздів найбільше проявляються в кривих, то для дослідження цього питання були визначені основні харак-

теристики плану лінії (табл. 2). З рис. 5, 6 і табл. 2 випливає, що за параметрами плану ділянки Київ–Гребінка і Київ–Миронівка можна віднести до найбільш придатних для організації швидкісного руху. Сумарна протяжність кривих становить відповідно 10,0 і 17,5 %. Інші ділянки є досить складними. Наприклад, на ділянці Миронівка–Т. Шевченка сумарна протяжність кривих 48,2 %, у т. ч. радіусом до 1 600 м – 42,1 %.

Характеристики плану ділянок, що досліджуються

Ділянки	$\sum K$, км	$\sum \alpha$ / км, град.	$R_{сер}$, м	$\gamma_{R<1600}$, %
Північний напрямок				
Київ–Гребінка	14,9	4,95	1 162	5,8
Гребінка–Полтава	59,2	21,00	867	25,4
Полтава–Дніпропетровськ	42,7	16,68	688	20,0
Південний напрямок				
Київ–Миронівка	18,9	7,86	1 280	12,3
Миронівка–Т. Шевченка	52,3	22,98	1 202	42,1
Т. Шевченка–Знам'янка	41,0	27,63	926	41,9
Знам'янка–П'ятихатки	36,9	22,23	924	34,3
П'ятихатки–Верхівцеве	17,8	18,65	1 118	32,4
Верхівцеве–Дніпропетровськ	33,0	28,12	946	40,4

Методика дослідження

Методика дослідження полягає в застосуванні розробленої на кафедрі «Проектування і будівництво доріг» ДШТУ тягово-експлуатаційної моделі. Така модель дозволяє встановлювати підвищення зовнішньої рейки в кривих і відповідну довжину

перехідних кривих, визначати допустиму швидкість руху, виконувати тягові розрахунки, а також оцінювати комфортабельність їзди (табл. 3).

В табл. 4 наведені результати, що були отримані з використанням тягово-експлуатаційної моделі.

Таблиця 3

Структурна схема тягово-експлуатаційної моделі

Виконання операцій	Пояснення
1. Розрахунки підвищення зовнішньої рейки і корегування довжини перехідних кривих	Може бути змінено підвищення зовнішньої рейки відносно існуючого і відкоригована довжина перехідних кривих залежно від швидкості, яку необхідно забезпечити після реконструкції ділянки залізниці (перехідні криві подовжуються, якщо достатня довжина прямих ділянок колії, що примикають)
2. Розрахунки допустимої швидкості руху поїзда	Результатами розрахунків є допустимі швидкості руху на кожній кривій з встановленням причин, що обмежують швидкість
3. Тягові розрахунки	Виконуються розрахунки з використанням параметрів поздовжнього профілю, плану лінії, характеристик рухомого складу, обмежень швидкості на станціях і інших «бар'єрних» місцях
4. Аналіз комфортабельності їзди	Визначається векторна сума горизонтальних, вертикальних і поздовжніх прискорень, що діють на пасажирів у поїзді, і коефіцієнт комфорту пасажира [8]

Середня швидкість і розкид швидкості руху, км/год, в непарному напрямку

Ділянки	ДСЗ		Pendolino		Співвідношення, %	
	Середня швидкість	Розкид швидкості	Середня швидкість	Розкид швидкості	Середня швидкість	Розкид швидкості
Північний напрямок						
Київ–Гребінка	135,2	30,4	136,8	28,0	1,2	7,9
Гребінка–Полтава	102,7	18,7	111,2	20,6	7,6	-10,2
Полтава–Дніпропетровськ	104,4	19,8	109,2	20,1	4,4	-1,5
Південний напрямок						
Київ–Миронівка	118,5	33,4	128,4	26,6	7,7	20,4
Миронівка–Т. Шевченка	99,5	27,4	107,8	25,3	7,7	7,7
Т. Шевченка–Знам'янка	93,6	25,1	106,9	31,9	12,4	-27,1
Знам'янка–П'ятихатки	92,7	28,1	105,3	26,8	12,0	4,6
П'ятихатки–Верхівцеве	110,5	31,0	117,0	31,3	5,6	-1,0
Верхівцеве–Дніпропетровськ	85,9	21,5	92,5	20,4	7,1	5,1

З аналізу даних табл. 4 видно, що найбільше зростання швидкості руху в процесі впровадження рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів досягається на північному напрямку на ділянці Гребінка–Полтава (середня швидкість руху зростає на 7,6%), на південному напрямку – на ділянках Т. Шевченка–Знам'янка–П'ятихатки (більше 12%) і Київ–Миронівка–Т. Шевченка (7,7%).

Порівняння отриманих результатів з характеристиками плану ділянок (см. табл. 2) показує, що між середнім радіусом ($R_{сер}$) і пито-

мою вагою кривих радіусів до 1 600 м ($\gamma_{R<1600}$), що обмежують максимально допустиму швидкість 160 км/год, немає прямої залежності, а тому визначити за цими показниками напрямки, чи навіть окремі ділянки, де впровадження поїздів типу Pendolino буде найбільш ефективним, неможливо. У попередніх дослідженнях [9] було показано, що різниця швидкості руху існуючого рухомого складу і Pendolino залежить від радіуса кривої. Для прикладу наведені дані для ділянки Гребінка–Полтава (рис. 8).

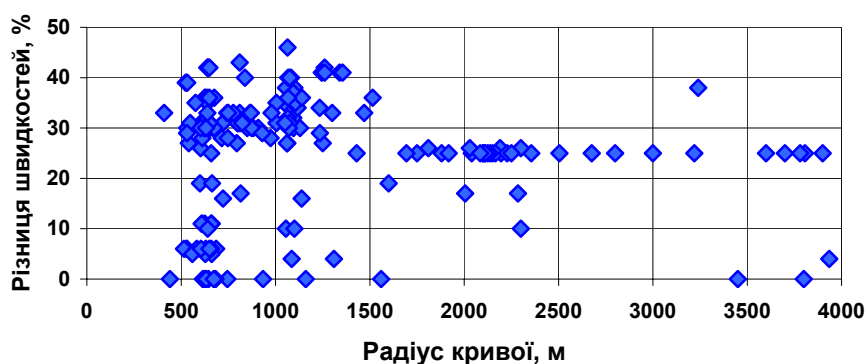


Рис. 8. Різниця швидкості руху для рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів і існуючого залежно від радіусу кривої на ділянці Гребінка–Полтава

З рис. 8 видно, що найбільша різниця у швидкості руху (до 30...40%) може бути в кривих радіусом до 1 200 м. В кривих більших радіусів швидкість руху підвищується в середньому на 25% у порівнянні з існую-

чими поїздами. Крім радіуса кривих слід аналізувати й інші параметри, від яких залежить допустима швидкість руху поїздів. Зростання швидкості в кожній окремо розглянутій кривій залежить також від встановленого

підвищення зовнішньої рейки і крутизни його відводу.

Розглянемо сполучені криві на ділянці Київ–Миронівка (км 57–58) з радіусами 794, 847, 725 і 877 м, існуючим підвищенням 70 мм і перехідними кривими відповідно 70 і 60 м. З використанням тягово-експлуатаційної моделі встановлено, що максимально допустима швидкість для ДСЗ становить 105 км/год (табл. 5) і визначається за формулою

$$V = 3,6 \sqrt{R \left([\alpha_{\text{нп}}] + \frac{g}{S} h_p \right)}, \quad (1)$$

де R – існуючий радіус кривої, м; h_p – розрахункове підвищення зовнішньої рейки, мм; $[\alpha_{\text{нп}}]$ – допустиме непогашене прискорення в круговій кривій, м/с^2 ; S – відстань між осями головок рейок, $S = 1600$ мм; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Таблиця 5

Допустима швидкість руху по кривих (км 57–58)

Тип елемента	Початок елемента	Довжина, м	Радіус, м	Підвищення, мм	Швидкість, км/год	Обмеження швидкості
пряма	57+645	195	–	–	–	–
перехідна	70	–	–	–	105	За формулою (1) $R = 725 \text{ м},$ $h = 70 \text{ мм},$ $\alpha_{\text{нп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$
кругова	57+840	210	794	70	–	
кругова	58+050	70	847	70	–	
кругова	58+120	55	725	70	–	
кругова	58+175	35	877	70	–	
перехідна	60	–	–	–	–	
пряма	58+210	2847	–	–	–	–

У сучасних екіпажах, що при проходженні кривої мають примусовий крен усередину кривої на кут γ , допустима швидкість збільшується завдяки уведенню в формулу (1) підвищення

$$\Delta h = \frac{\pi \cdot S \cdot \sin \gamma}{180},$$

що є додатковою компенсацією непогашеного прискорення. За цих умов допустима швидкість для Pendolino становитиме не більше 120 км/год, бо обмежується крутизною відводу підвищення зовнішньої рейки 1,2 ‰. Подальшого зростання швидкості можна досягти за рахунок збільшення підвищення зовнішньої рейки і відповідного подовження перехідних кривих (табл. 6).

Таблиця 6

Допустимі швидкості руху при збільшенні підвищення зовнішньої рейки і подовженні перехідних кривих

Підвищення, мм	Допустима швидкість, км/год							
	ДСЗ				Pendolino			
	При мінімальній довжині перехідних кривих, м							
	60	80	100	120	60	80	100	120
70	105	105	105	105	120	145	145	145
80	105	105	105	105	105	135	145	145
90	95	110	110	110	95	120	145	145
100	85	110	110	110	85	110	135	145
110	75	100	115	115	75	100	125	145
120	70	95	115	115	70	95	115	145

Однак подовження перехідних кривих приводить до зміщення осі колії. Найбільше зміщення $S_{\text{пер}}$ по бісектрисі можна розрахувати за формулою

$$S_{\text{пер}} = \frac{1}{24R} (2l_{\text{суц}} + \Delta l) \Delta l, \quad (2)$$

де $\Delta l = l_{\text{пр}} - l_{\text{існ}}$; $l_{\text{пр}}; l_{\text{існ}}$ – довжина проекційної і існуючої перехідних кривих.

При $l_{\text{існ}} = 60$ м і $l_{\text{пр}} = 120$ м зміщення осі колії $S_{\text{пер}}$ у межах кругової кривої становить

0,6 м, що потребує уширення існуючого земляного полотна.

Наявність коротких перехідних кривих залізничної колії і крутих відводів підвищення зовнішньої рейки часто не дозволяють забезпечити високу швидкість руху навіть таких поїздів як Pendolino. Отже, висновок італійського фахівця Луїджі Джуліані [6], що від Дніпропетровська до Києва можна буде доїхати за три години є передчасним.

Результати виконаних нами розрахунків наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Середня маршрутна швидкість руху за напрямками

Напрямок	Довжина, км	Час руху, хв				Маршрутна швидкість, км/год	
		ДСЗ		Pendolino		ДСЗ	Pendolino
		туди	назад	туди	назад		
Київ–Полтава–Дніпропетровськ	545,8	319	320	305	306	102	107
Київ–Миронівка–Дніпропетровськ	531,0	344	344	314	316	93	101

Висновки

1. Проведене дослідження підтвердило переваги щодо застосування рухомого складу Pendolino у порівнянні з вітчизняним рухомим складом для реалізації більш високих швидкостей руху. Так, при впровадженні рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів досягається більше скорочення часу руху: на південному напрямку Київ–Миронівка–Дніпропетровськ (у порівнянні з ДСЗ на 29 хв), на північному напрямку Київ–Полтава–Дніпропетровськ – на 15 хв. Отже, більше зростання швидкості там, де складніший план лінії: на північному напрямку – до 7,6 % (Гребінка–Полтава), на південному – до 12,4 % (Г. Шевченка–Знам'янка). У той же час прямої залежності між середнім радіусом і питомою вагою кривих радіусів до 1 600 м, що обмежують максимально допустиму швидкість 160 км/год, немає.

2. У деяких закордонних роботах наводяться дані, що застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузовів дозволяє скоротити час руху майже на 30 %. Таке ствердження не завжди вірне. Як показали розрахунки, виконані для залізниць України, визначальними факторами, що впливають на кінцевий результат, є фактичні радіуси кривих, величини розрахункового підвищення зовнішньої рейки, яка визначається в основному вантажними поїздами, і крутизна відводу підвищення. Короткі перехідні криві і круті відводи підвищення зовнішньої рейки, на-

явність складних (два і більше радіусів) і сполучених кривих (розподілених короткими прямими вставками) не дозволяють забезпечити високі швидкості руху без перебудови кривих.

3. Багаторічний досвід європейських країн, де вже впроваджені швидкісні електропоїзди з кузовами вагонів, що нахилиються, показав, а виконані нами розрахунки підтвердили висновок, що ефективність впровадження поїздів типу Pendolino має місце після інвестицій в інфраструктуру залізниць і перш за все в перебудову кривих, пов'язаних з коригуванням підвищення зовнішньої рейки й подовженням перехідних кривих.

4. Витрати енергії і потрібна потужність електропоїзда пропорційні швидкості у другому і третьому степені відповідно. При підвищенні швидкості на 10 % аеродинамічний опір збільшується на 20 %, а потрібна потужність на 30 %. Цим можна пояснити той факт, що реалізація більш високої швидкості Pendolino у порівнянні з існуючим рухомим складом веде до збільшення механічної роботи локомотива і до росту енергії, яка споживається. При скороченні часу руху близько 10 %, витрати електроенергії збільшуються на 6...13 %, а вартість пробігу поїзда зростає на 4...7 %.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005–2015 роки. – К., 2004. – 43 с.

2. Афтаназів З. С. Реформування галузі – вимога часу, а втрата темпу загрожує втратою конкурентоспроможності / Магістраль № 116–117, 4 листопада 2005 р. – С. 3–5.
3. Локомотивне господарство Українських залізниць: сьогодні і завтра // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 1 – С. 53–54.
4. Танащенко Т. Тепловоз нового покоління проходить испытання в локомотивном депо Джанкой / Приднепровская магістраль № 40, 14 октября 2005 г. – С. 1.
5. Генеральный директор Укрзалізници Василий Гладких: «Железнодорожники намерены покупать современные локомотивы у отечественных производителей» / Приднепровская магістраль № 4, 3 февраля 2006 г. – С. 1.
6. Павленко Н. В. Киев – за три часа / Приднепровская магістраль № 29, 29 июля 2005 г. – С. 6.
7. SIX CARS ELECTRIC PENDOLINO for Ukraine. Technical Description. Alstom. Savigliano. – 2003. – 18 p.
8. Leaflet 513. Guidelines for evaluationg passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles / Traction and Rilling Stock Committee. – P., 1999.
9. Зубко А. П. Аналіз можливості застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів при організації швидкісного руху / А. П. Зубко, І. П. Корженевич, М. Б. Курган, Д. М. Курган // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Видво Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – Вип. 4. – С. 156–164.

Надійшла до редколегії 20.10.2005.

Ю. І. ОСЕНІН, В. П. ВОЙТЕНКО

(Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З АДАПТАЦІЄЮ ДО УМОВ НЕКОНТРОЛЬОВАНИХ АКУСТИЧНИХ ПЕРЕШКОД

Запропоновано пристрій для діагностування рейкової колії з адаптацією до умов неконтрольованих акустичних перешкод техногенного походження, які поширюються в матеріалі рейки, шляхом застосування спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є, цифрової фільтрації і статистичної обробки сигналів. Розглянуто блок-схему і роботу пристрою.

Предложено устройство для диагностирования рельсового пути с адаптацией к условиям неконтролируемых акустических помех техногенного происхождения, распространяющихся в материале рельса, путем применения спектрального анализа на основе преобразования Фурье, цифровой фильтрации и статистической обработки сигналов. Рассмотрена блок-схема и работа устройства.

The paper suggests a railway track diagnostic device adaptable to the conditions of uncontrolled acoustic interferences of man-caused origin propagating in the rail material by means of using the spectral analysis based upon the Fourier transformation, digital filtration and statistical signal processing. The device block diagram and its operation are considered.

Одним із заходів, необхідних для забезпечення надійної роботи залізничного транспорту, є діагностування залізничної колії. У роботі [1] розглянуто можливість застосування акустичних методів для безперервного комплексного контролю технічного стану залізничної колії на наявність сторонніх предметів, дефектів поверхні головки рейки у вигляді тріщин і напливів, якості кріплення рейки до шпал, запропоновано пристрій для цих цілей. У роботі [2] проведено моделювання процесу діагностування залізничної колії на наявність сторонніх предметів. У роботах [3; 4] запропоновано пристрої для виявлення сторонніх предметів на контрольованій ділянці залізниці.

На роботу акустичних діагностуючих пристроїв можуть здійснювати вплив акустичні перешкоди техногенного походження, що виникають і поширюються в рейці у результаті взаємодії рухомого складу з рейкою під час руху поїздів, особливо при перетинанні потягом стрілочних переводів, стикових з'єднань рейкових ланок та гальмуванні. Тому захист таких пристроїв від акустичних перешкод є актуальним.

Ці акустичні перешкоди мають деякі характерні особливості, однак, вплив багатьох факторів на розподіл спектральної щільності акустичної емісії перешкоди не дозволяє однозначно ідентифікувати перешкоду. Тому задача ідентифікації перешкоди не ставиться.

Метою даної роботи є розробка пристрою для діагностування залізничної колії з адаптацією до умов неконтрольованих акустичних перешкод техногенного походження.

Основний зміст дослідження

Підвищити надійність акустичних діагностуючих пристроїв, призначених для роботи в умовах неконтрольованих акустичних перешкод, що поширюються в рейці, можна шляхом адаптації до даних умов. Для цього необхідно проаналізувати спектр акустичної перешкоди й автоматично змінити робочу частоту акустичного пристрою таким чином, щоб вона приходилася на область спектра, максимально вільну від перешкоди.

Аналізувати спектр акустичної перешкоди зручно за допомогою одного з інтегральних перетворень. Для цього за допомогою аналогово-цифрового перетворювача перешкода перетворюється в масив даних $y(x)$, що містить 2^n елементів, причому, чим більша кількість числових даних, тим вище спектральне розділення. Сукупності даних $y(x)$ ставлять у відповідність деяку функцію $f(v)$. Розглянемо інтегральне перетворення Фур'є, найбільше часто застосовуване в спектральному аналізі.

Як відомо, математичний зміст перетворення Фур'є складається у зображенні сигналу $y(x)$ у вигляді нескінченної суми синусоїд виду $f(v) \cdot \sin(v \cdot x)$. Аргумент v функції $f(v)$ має значення частоти відповідного складового сигналу. Перетворення Фур'є $f(v)$ є комплексною величиною навіть у випадку дійсного сигналу

$$f(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(x) \cdot \exp(-i \cdot v \cdot x) dx .$$

Для одержання функції $f(v)$ по масиву дійсних даних існує ефективний алгоритм швидкого перетворення Фур'є, що, зокрема, реалізований на апаратному рівні у великих інтегральних схемах, які випускаються промисловістю.

Практична реалізація діагностуючого акустичного пристрою, що адаптується до умов акустичних перешкод, вимагає застосування широкосмугових п'єзоелектричних перетворювачів для перетворення електричних сигналів в акустичні і навпаки. Стандартні п'єзоелектричні перетворювачі, що випускаються промисловістю для дефектоскопії виробів, мають вузький робочий діапазон, що лежить у межах декількох сотень кілогерц. Такої порівняно вузької смуги частот може виявитися недостатньо для пошуку ділянки, вільної від акустичних перешкод. Тому як широкосмуговий перетворювач зручно використовувати п'єзоелектричний перетворювач у вигляді пластини перемінної товщини. Гарні результати можуть бути отримані за допомогою перетворювача, у якого одна сторона плоска, а інша – вигнута [5].

При зниженні частоти ультразвукова хвиля випромінюється кільцем більшого діаметра зі стінкою більшої товщини, завдяки чому діаграма спрямованості у випадку, якщо п'єзопластина звернена до поверхні призми плоскою стороною, залишається незмінною у всьому діапазоні частот перетворювача. Блок-схема акустичного пристрою для діагностування рейкової колії на наявність дефектів матеріалу рейки і сторонніх предметів на поверхні рейки з адаптацією до умов акустичних перешкод наведена на рисунку.

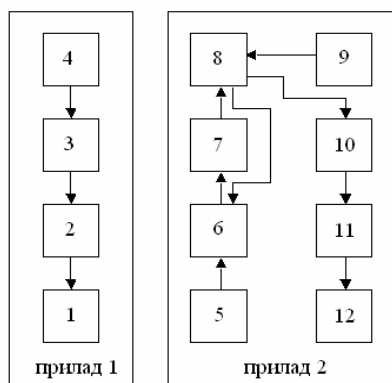


Рис. Блок-схема акустичного пристрою для діагностування рейкової колії з адаптацією до умов акустичних перешкод:

- 1 – випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач; 2 – генератор хитної частоти;
- 3 – формувач інтервалів часу; 4 – нуль-детектор;
- 5 – приймальний п'єзоелектричний перетворювач;
- 6 – підсилювач з регульованою смугою посилення;
- 7 – аналогово-цифровий перетворювач;
- 8 – мікроконтролер; 9 – нуль-детектор;
- 10 – кодер; 11 – передавач із ЧМ модуляцією;
- 12 – резонансна електромагнітна антена

Пристрій (рисунок) складається з двох приладів, рознесених між собою на відстань, яка дорівнює довжині контрольованої ділянки залізниці. Прилад 1 містить у собі такі блоки: випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач 1, з'єднаний з виходом генератора, хитні частоти 2, що керується формувачем інтервалів часу 3, синхронізованим нуль-детектором 4 із приладом 2.

Прилад 2 містить: приймальний п'єзоелектричний перетворювач 5, з'єднаний із входом підсилювача 6 з регульованою смугою посилення, вихід якого з'єднаний з аналогово-цифровим перетворювачем 7, цифрові виходи якого з'єднані з портом мікроконтролера 8. Мікроконтролер 8 з'єднано з детектором 9 і кодером 10, вихід якого з'єднано з входом модулятора передавача з частотною модуляцією (ЧМ) 11, підключеного до зовнішньої електромагнітної антени 12.

Пристрій працює в такий спосіб. Кожні 20 мс випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач 1 першого приладу перетворює в акустичну хвилю, що поширюється в поверхні рейки, електричний сигнал тривалістю 2 мс постійної амплітуди генератора 2 хитні частоти, що задається формувачем 3 інтервалів часу, синхронізованому за моментом перетинання перемінною напругою живильної мережі частотою 50 Гц нульового значення, що визначається за допомогою нуль-детектора 4, який забезпечує синхронізацію роботи приладу 1 із приладом 2.

Прилад 2 працює в такий спосіб. Приймальний п'єзоелектричний перетворювач 5 перетворює шум акустичних перешкод, що поширюються в поверхневому шарі рейки, в електричний сигнал, який підсилюється підсилювачем 6 з регульованою смугою посилення, причому смуга посилення відповідає робочій смузі приймального п'єзоелектричного перетворювача. Приймальний п'єзоелектричний перетворювач – це диск, одна з поверхонь якого плоска, а інша – сферична.

Посилений електричний сигнал, що містить інформацію про амплітудно-частотний спектр акустичних перешкод у рейці, надходить на вхід аналогово-цифрового перетворювача 7, що передає цифрову інформацію про сигнал у мікроконтролер 8 через проміжок часу 10 мс із моменту подачі сигналу від нуль-детектора 9, що здійснює синхронізацію приладів 1 і 2 по переходу через нуль живильної напруги частотою 50 Гц.

Спеціальна підпрограма мікроконтролера 8 реалізує алгоритм швидкого перетворення Фур'є за двоїчними даними, отриманими від аналогово-цифрового перетворювача 7. Визначається ділянка спектра, відносно вільна від пе-

решкод, якій ставляться у відповідність перемінні підпрограми, що реалізують цифрову фільтрацію прийнятого сигналу, а також ширина смуги посилення підсилювача 6 з регульованою смугою посилення. По переходу живильної напруги частотою 50 Гц через нуль, п'єзоперетворювачем 1 першого приладу випромінюється акустичний сигнал у вигляді пакета постійної амплітуди і перемінної частоти, що змінюється лінійно від нижнього до верхнього значення. У цей же час по сигналі нуль-детектора 9 другого приладу мікроконтролер 8 установлює смугу посилення підсилювача 6 з регульованою смугою посилення відповідно до ділянки спектра, відносно вільній від акустичних перешкод у даний момент часу.

Випромінюваний п'єзоперетворювачем 1 першого приладу сигнал разом з акустичними перешкодами приймається п'єзоперетворювачем 5 другого приладу. Після цього електричний сигнал підсилюється підсилювачем 6, у результаті чого на вхід аналогово-цифрового перетворювача 7 надходить тільки та частина сигналу, що у момент випромінювання знаходилася в смузі частот відносно вільній від перешкод. Мікроконтролер 8 додатково проводить фільтрацію сигналу за допомогою підпрограми, що реалізує алгоритм цифрового фільтра за допомогою прямого і зворотного перетворення Фур'є. У результаті програмної обробки визначається максимальне значення амплітуди прийнятої послідовності і на підставі порівняння обмірюваної амплітуди з величиною, записаною у флеш-пам'ять мікроконтролера при калібруванні пристрою, робиться висновок про наявність дефекту матеріалу рейки або стороннього предмета на поверхні рейки.

Для підвищення надійності пристрою в умовах сильних акустичних перешкод, викликаних, наприклад, наближенням потяга, застосовуються методи статистичної обробки декількох десятків вимірів. Розглянутий пристрій повідомляє про результати виявлення сторонніх металевих предметів на поверхні рейки за допомогою радіозв'язку. Для цього мікроконтролер 8 (див. рисунок) передає дані в кодер 10, які після кодування передаються в диспетчерську за допомогою передавача 11 із ЧМ модуляцією, що має зовнішню резонансну антену 12. У диспетчерській інформація, що надходить від акустичного пристрою, аналізується разом з іншою інформацією, що надходить від систем забезпечення безпеки на контрольованій ділянці залізниці.

Висновки

1. Підвищити надійність роботи діагностуючого пристрою в умовах акустичних перешкод на рейковій колії можна завдяки його адаптації до цих умов шляхом застосування спектрального аналізу, цифрової фільтрації і статистичної обробки сигналів. Пристрій може бути використаний для діагностики потенційно небезпечних ділянок рейкової колії, на яких ймовірність випадання вантажів, будівельних матеріалів, елементів екіпажної частини транспортних засобів є великою (залізничні переїзди, стрілочні переводи) та ділянок, на яких наявність сторонніх предметів може викликати тяжкі наслідки (криволінійні ділянки колії, мости, тунелі).

2. Забезпечити синхронізацію роботи двох приладів, установлених на протилежних кінцях ділянки залізниці, що входять до складу акустичного діагностувального пристрою, можна за рахунок застосування нуль-детектора, підключеного до мікроконтролера.

3. Застосування діагностувального пристрою з адаптацією до умов неконтрольованих акустичних перешкод дозволить підвищити безпеку руху на залізниці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Войтенко В. П. Діагностування технічного стану рейкового шляху за допомогою акустичних методів / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 5(87). – С. 272–278.
2. Войтенко В. П. Моделювання процесу діагностування залізничного рейкового шляху та аналіз результатів дослідження / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 6(88). – С. 244–254.
3. Войтенко В. А. Обнаружение препятствий на железнодорожном пути / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 3(85). – С. 54–60.
4. Войтенко В. П. Пристрій для виявлення сторонніх предметів на залізничній колії / В. П. Войтенко, Ю. І. Осенін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. – № 8(90), ч. 2. – С. 118–123.
5. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Т.1 / Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 487 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2005.

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Розглядається методологія та методика вибору ефективних систем доставки калійних добрив. Наведені результати досліджень з визначення раціональних маршрутів перевезень залежно від форс-мажорних обставин, фрахтових і тарифних ставок на різних видах транспорту.

Рассматривается методология и методика выбора эффективных систем доставки калийных удобрений. Приведены результаты исследований по определению рациональных маршрутов перевозки в зависимости от форс-мажорных обстоятельств, фрахтовых и тарифных ставок на различных видах транспорта.

A methodology and methods of selection of effective delivery systems of potassium fertilizers is considered. Investigation results on determining rational routes dependent on force-majeur circumstances, freight and tariffs rates on different means of transport have been presented.

Производственные мощности по добыче калийных удобрений находятся в 13 странах мира. На долю российских и белорусских предприятий приходится около 1/3 мирового производства данного вида удобрений. ПО «Беларуськалий» отправляет на экспорт около 85 % своей продукции. Роль систем доставки в цене доставляемой продукции значительна, так как калийные удобрения поставляются во многие страны мира от Южной Америки до Юго-Восточной Азии. В этих условиях цена предложения калийных удобрений в значительной мере зависит от транспортной составляющей, характеризующейся транспортно-логистическими затратами.

В конечном итоге создание эффективных систем доставки калийных удобрений направлено на снижение цены предложения в месте их продажи, увеличение прибыли ПО «Беларуськалий», валового национального дохода Беларуси и налоговых поступлений в государственный бюджет за счет уменьшения транспортно-логистических затрат [1]. Объектом исследования для достижения данной цели являются материальные, транспортные, информационные потоки при доставке продукции ПО «Беларуськалий» к месту их продажи.

Исходная цель обусловила необходимость постановки и решения следующих задач в сфере функционирования видов потоков [2]:

1. Материальный поток:

– разработка и экономическое обоснование эффективных систем доставки минеральных удобрений от производителя до пункта продажи при известных объемах поставки в конкретные государства;

– обоснование перевозки калийных удобрений маршрутными, групповыми или повагонными отправками с учетом ограниченного числа вагонов.

2. Транспортный поток:

– разработка эффективной системы обновления вагонного парка для доставки продукции ПО «Беларуськалий»: создание операторской компании на основе фирмы «Беларуськалий-транспорт», использование вагонов, принадлежащих экспедиторам-резидентам Республики Беларусь, перевозка минеральных удобрений в вагонах железных дорог;

– реконструкция станции отправления Калий-3, путевого развития перевалочных терминалов в портах (Клайпеда и др.) с учетом обеспечения потребной перерабатывающей способности.

3. Информационный поток:

– разработка рекомендаций по совершенствованию режимов взаимодействия материального потока с информационным и транспортным в начально-конечных (станция Калий-3 и портовые станции) и транзитных пунктах (разрешение ввоза арендованных вагонов экспедиторами-резидентами Республики Беларусь на срок до одного года);

– выбор рациональной формы транспортно-экспедиторского обслуживания при доставке калийных удобрений, включая сквозное экспедирование операторской компанией на базе фирмы «Беларуськалий-транспорт».

4. Финансовый поток:

– выбор рациональной системы оплаты при перевозке калийных удобрений железнодорожным транспортом через экспедиторов-резидентов

или нерезидентов Республики Беларусь, непосредственная оплата отправителем транзитным железным дорогам и другие формы оплаты;

– обоснование эффективной системы продажи на международном товарном рынке продукции ПО «Беларуськалий» аналогично оплате за перевозку: через посредников резидентов или нерезидентов Беларуси;

– создание оптимальной системы финансирования обновления вагонного парка для перевозки калийных удобрений путем выбора из альтернативно возможных: предоставление льготных кредитов, приобретение подвижного состава экспедиторами резидентами Беларуси или ПО «Беларуськалий» и др.

Около 90 % экспортной продукции ПО «Беларуськалий» доставляется через морские порты. Теоретически перегрузка калийных удобрений на морские суда должна осуществляться в одном глубоководном порту, что позволит снизить себестоимость перевалки. Однако при таком подходе форс-мажорные обстоятельства могут привести к сбоям в перевалке, что остановит продвижение материального потока до потребителя и накопления продукции у производителя, увеличив цену предложения. Это требует распределения перевалки калийных удобрений между несколькими портами.

Выполненные исследования показали, что в качестве целевой функции целесообразно использовать маржу дополнительной прибыли, которая формируется за счет эффективных систем доставки и продаж (в качестве целевой функции используется маржа дополнительной прибыли, образуемая за счет эффективных систем доставки и продаж):

1. Продажа калийных удобрений ПО «Беларуськалий» при поставке на условиях FOB:

– в качестве переменной используется доля калийных удобрений, реализуемых РУП ПО «Беларуськалий» через порты Вентспилс, Клайпеда и Николаев

$$F_1 = (C_{\text{вн}}^{\text{фоб}} - C_{\text{пр}}^{\text{вн}}) X_{\text{вн}} Q_{\text{пр}} (1 - \Delta) + \\ + (C_{\text{кл}}^{\text{фоб}} - C_{\text{пр}}^{\text{кл}}) X_{\text{кл}} Q_{\text{пр}} (1 - \Delta) + \\ + (C_{\text{ни}}^{\text{фоб}} - C_{\text{пр}}^{\text{ни}}) X_{\text{ни}} Q_{\text{пр}} (1 - \Delta) \rightarrow \max.$$

Ограничения:

$$X_{\text{вн}} + X_{\text{кл}} + X_{\text{ни}} = 1 - \Delta; \\ X_i Q_{\text{пр}} (1 - \Delta) \leq Q_i; \quad X_{\text{вн}}, X_{\text{кл}}, X_{\text{ни}} \geq 0; \\ Q_{\text{вн}} + Q_{\text{кл}} + Q_{\text{ни}} \geq Q_{\text{пр}} (1 - \Delta).$$

– в качестве переменной используется количество вагонов для перевозки калийных удобрений на Вентспилс, Клайпеду и Николаев

$$F_1 = (C_{\text{вн}}^{\text{фоб}} - C_{\text{пр}}^{\text{вн}}) \cdot \frac{365 n_{\text{ваг}}^{\text{вн}} P_{\text{ст}}^{\text{вн}}}{\Theta^{\text{вн}}} + \\ + (C_{\text{кл}}^{\text{фоб}} - C_{\text{пр}}^{\text{кл}}) \cdot \frac{365 n_{\text{ваг}}^{\text{кл}} P_{\text{ст}}^{\text{кл}}}{\Theta^{\text{кл}}} + \\ + (C_{\text{ни}}^{\text{фоб}} - C_{\text{пр}}^{\text{ни}}) \cdot \frac{365 n_{\text{ваг}}^{\text{ни}} P_{\text{ст}}^{\text{ни}}}{\Theta^{\text{ни}}} \rightarrow \max.$$

Ограничения:

$$\frac{365 n_{\text{ваг}}^i P_{\text{ст}}^i}{\Theta^i} \leq Q_i; \quad n_{\text{ваг}}^{\text{вн}}, n_{\text{ваг}}^{\text{кл}}, n_{\text{ваг}}^{\text{ни}} \geq 0; \\ Q_{\text{вн}} + Q_{\text{кл}} + Q_{\text{ни}} \geq Q_{\text{пр}} (1 - \Delta); \\ \frac{365 n_{\text{ваг}}^{\text{вн}} P_{\text{ст}}^{\text{вн}}}{\Theta^{\text{вн}}} + \frac{365 n_{\text{ваг}}^{\text{кл}} P_{\text{ст}}^{\text{кл}}}{\Theta^{\text{кл}}} + \\ + \frac{365 n_{\text{ваг}}^{\text{ни}} P_{\text{ст}}^{\text{ни}}}{\Theta^{\text{ни}}} = Q_{\text{пр}} (1 - \Delta); \\ \frac{365 n_{\text{ваг}}^i P_{\text{ст}}^i}{\Theta^i} \leq Q_1^{\text{жд}}.$$

2. Продажа калийных удобрений международной калийной компанией на условиях СИФ

$$F_2 = \sum_{l=1}^c \sum_{i=1}^n (C_{\text{вил}}^{\text{сиф}} - C_{\text{пил}}^{\text{вн}}) P_{\text{сил}}^{\text{вн}} X_{\text{ил}}^{\text{вн}} + \\ + \sum_{l=1}^f \sum_{j=1}^m (C_{\text{квл}}^{\text{сиф}} - C_{\text{пвл}}^{\text{кл}}) P_{\text{свл}}^{\text{кл}} X_{\text{вл}}^{\text{кл}} + \\ + \sum_{l=1}^c \sum_{k=1}^n (C_{\text{никл}}^{\text{сиф}} - C_{\text{пкл}}^{\text{ни}}) P_{\text{скл}}^{\text{ни}} X_{\text{кл}}^{\text{ни}} \rightarrow \max.$$

Ограничения:

$$\sum_{i=1}^n P_{\text{сил}}^{\text{вн}} X_{\text{ил}}^{\text{вн}} = X_{\text{вн}} Q_{\text{пр}} (1 - \Delta); \\ \sum_{j=1}^m P_{\text{свл}}^{\text{кл}} X_{\text{вл}}^{\text{кл}} = X_{\text{кл}} Q_{\text{пр}} (1 - \Delta); \\ \sum_{k=1}^n P_{\text{скл}}^{\text{ни}} X_{\text{кл}}^{\text{ни}} = X_{\text{ни}} Q_{\text{пр}} (1 - \Delta); \\ X_{\text{ил}}^{\text{вн}}, X_{\text{вл}}^{\text{кл}}, X_{\text{кл}}^{\text{ни}} \geq 0.$$

3. Продажа калийных удобрений компаниями Республики Беларусь при поставке на условиях СИФ:

$$F = F_1 + F_2 \rightarrow \max .$$

Ограничения имеют математическую форму, приведенную в п.1 и 2.

Теоретически максимизация прибыли ПО «Беларуськалий» и посреднических компаний Беларуси по продаже калийных удобрений повысит ВНД нашего государства при поставке их на условиях СИФ.

В вышеприведенных формулах имеются следующие условные обозначения:

$C_{\text{вн}}^{\text{фоб}}$, $C_{\text{кл}}^{\text{фоб}}$, $C_{\text{ни}}^{\text{фоб}}$ – соответственно цены покупателя на условиях FOB, по которым он готов приобрести калийные удобрения в портах Вентспилс, Клайпеда и Николаев;

$C_{\text{пр}}^{\text{вн}}$, $C_{\text{пр}}^{\text{кл}}$, $C_{\text{пр}}^{\text{ни}}$ – соответственно цены продавца (ПО «Беларуськалий»), по которым он готов продать калийные удобрения в портах Вентспилс, Клайпеда и Николаев с учетом издержек производства и обращения (включая тарифы, портовые, страховые сборы и другие транспортно-логистические затраты), стремления получить намеченную прибыль от реализации, производственных возможностей;

$X_{\text{вн}}$, $X_{\text{кл}}$, $X_{\text{ни}}$ – соответственно доли калийных удобрений от общего объема производства, реализуемые РУП ПО «Беларуськалий» через порты Вентспилс, Клайпеда и Николаев;

Δ – доля калийных удобрений, реализуемая на экспорт на условиях ДАФ, а также на внутреннем рынке;

$Q_{\text{пр}}$ – ежегодный объем производства калийных удобрений ПО «Беларуськалий», т/год;

$Q_{\text{вн}}$; $Q_{\text{кл}}$; $Q_{\text{ни}}$ – соответственно перерабатывающая способность портовых комплексов Вентспилс, Клайпеда и Николаев, резервируемая для ПО «Беларуськалий» и определяемая «узким местом» (пропускной способностью портовой станции, соединительных путей данной станции и портовых причалов и т. п.), наличием калийных удобрений других производителей, а также иных грузов;

$n_{\text{ваг}}^{\text{вн}}$, $n_{\text{ваг}}^{\text{кл}}$, $n_{\text{ваг}}^{\text{ни}}$ – соответственно количество вагонов для перевозки калийных удобрений на Вентспилс, Клайпеду и Николаев, обеспечивающих максимизацию маржи дополнительной прибыли за счет сокращения транспортно-логистических затрат;

$\Theta^{\text{вн}}$, $\Theta^{\text{кл}}$, $\Theta^{\text{ни}}$ – соответственно оборот вагонов на Вентспилс, Клайпеду и Николаев;

$P_{\text{ст}}^{\text{вн}}$, $P_{\text{ст}}^{\text{кл}}$, $P_{\text{ст}}^{\text{ни}}$ – соответственно статическая нагрузка вагонов при перевозке минеральных удобрений на Вентспилс, Клайпеду и Николаев;

$P_{\text{сil}}^{\text{вн}}$, $P_{\text{сjl}}^{\text{кл}}$, $P_{\text{сkl}}^{\text{ни}}$ – грузоподъемность (грузо-местимость) l -х судов, следующих в i , j и k -й порты соответственно из портов Вентспилс, Клайпеда и Николаев, используемая для перевозки калийных удобрений ПО «Беларуськалий»;

$Q_{\text{вн}}^{\text{жд}}$, $Q_{\text{кл}}^{\text{жд}}$, $Q_{\text{ни}}^{\text{жд}}$ – соответственно часть наличной провозной способности железнодорожного направления, резервируемая для перевозки калийных удобрений на Вентспилс, Клайпеду, Николаев;

$C_{\text{внil}}^{\text{сиф}}$, $C_{\text{кlyj}}^{\text{сиф}}$, $C_{\text{никl}}^{\text{сиф}}$ – цены покупателя при поставке на условиях СИФ, по которым он готов приобрести калийные удобрения в i , j и k -й портах, поступающих соответственно из портов Вентспилс, Клайпеда и Николаев в l -х судах;

$C_{\text{прil}}^{\text{вн}}$, $C_{\text{прjl}}^{\text{кл}}$, $C_{\text{прkl}}^{\text{ни}}$ – цены продавца (международной калийной компании, белорусских посредников и др.), по которым он готов продать калийные удобрения в i , j и k -м портах при их отправлении соответственно из портов Вентспилс, Клайпеда и Николаев в l -х судах с учетом издержек обращения (включая фрахт судов, портовые, страховые сборы, другие транспортно-логистические затраты) и содержания необходимых структур, стремления получить намеченную прибыль от реализации;

$X_{\text{il}}^{\text{вн}}$, $X_{\text{jl}}^{\text{кл}}$, $X_{\text{kl}}^{\text{ни}}$ – соответственно годовое количество l -х судов, следующих из портов Вентспилс, Клайпеда и Николаев в i , j и k -е порты.

Совершенствование систем доставки продукции может осуществляться за счет инвестиций, которые в виде кредитов отражаются в цене производителя. В результате возможны следующие варианты изменения цены готовой продукции при обновлении и увеличении собственного вагонного парка фирмы «Беларуськалий-транспорт»:

– увеличивается на величину банковского кредита, взятого на обновление и увеличение собственного парка минераловозов;

– остается без изменения или уменьшается по причине снижения платы за пользование вагонами железных дорог, улучшения сохранности грузов и других факторов, когда парк собственных вагонов увеличивается за счет средств других физических лиц (банков, экспедиторов, посредников и т. п.). В такой ситуации часть дополнительной прибыли, образуемой за счет обновления или увеличения парка собственных вагонов, передается инвесторам, а государство получает дополнительный доход в бюджет от роста налогов при увеличении прибыли;

– аналогично предыдущему варианту цена продавца остается без изменения или уменьшается при обновлении или увеличении парка собственных вагонов за счет средств государственного бюджета. В данном варианте бюджетные средства пополняются только при увеличении прибыли и налоговых поступлений от нее.

Результаты выполненных исследований показали:

1. Экспортную продукцию ПО «Беларуськалий» целесообразно перевозить через 3–4 морских порта в северном и южном направлениях, что позволяет учитывать форс-мажорные обстоятельства и обеспечивать максимальную прибыль у производителя, увеличить ВНД и максимально пополнять бюджет Республики Беларусь.

2. Целесообразно выделение базовых потоков для каждого порта перевалки на год и дополнительных потоков в размере 15...25 %

от базовых, которые будут переключаться между портами в зависимости от форс-мажорных обстоятельств, проводимой тарифной политики железнодорожными администрациями на маршрутные перевозки, фрахтовых ставок на морском транспорте и портовых сборов в конкретных портах.

3. Формирование систем доставки определяется ценами спроса и предложения, которые должны закладываться в основу критерия оценки эффективности транспортно-технологических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еловой И. А. Тарифы логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчетов). – Гомель: БелГУТ, 2001. – 336 с.
2. Еловой И.А. Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчетов): В 2 ч. – Гомель: БелГУТ, 2000. – 581 с.

Поступила в редколлегию 12.10.2006.

В. Н. ЖУРАВЛЕВ (Запорожский национальный технический университет),
И. В. ЖУКОВИЦКИЙ (ДИИТ)

АНАЛИЗ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ФОНАЦИИ ПРИ ДЕМОДУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Розглянуто алгоритм цифрової обробки ідентифікаційного фрагменту мови, що дозволяє на основі аналізу значення несучої частоти сигналу мови, який наведений у вигляді сигналу з фазовою модуляцією, підвищити точність ідентифікації параметрів фонем.

Рассмотрен алгоритм цифровой обработки идентификационного фрагмента речи, позволяющий на основе анализа девиации несущей частоты речевого сигнала, представленного в виде сигнала с фазовой модуляцией, повысить точность идентификации параметров фонем.

In clause the algorithm of digital processing of an identification fragment of speech allowing is considered, on the basis of the analysis deviation of carrying frequency of a speech signal submitted as a signal with phase modulation, to increase accuracy of identification of parameters phoneme.

Широкое распространение информационных систем на железнодорожном транспорте предопределяет необходимость разработки методов защиты информации, которая хранится и обрабатывается в этих системах, в том числе – методов идентификация абонентов системы. Одними из известных методов идентификации являются биометрические методы. При этом основная трудность применения речевых технологий в системах биометрической идентификации абонентов сетей связи – это недостаточная устойчивость методов распознавания слитной речи по отношению к входным ошибкам и ошибкам обработки. Большинство методов, которые применяются в настоящее время, основаны на моделях генерации гипотез с использованием семантико-синтаксических или стохастических ограничений. Методы базируются на применении теории цепей Маркова, теории нейронных сетей [1], выделения гипотез фонем методом скользящего анализа сигнала с последующей оценкой гипотез морфем на основе акустического правдоподобия словоформ и правдоподобия временных интервалов [2],

оценивания спектральной энергии сегментов речевого сигнала [3].

Минимальными структурно-функциональными звуковыми единицами в большинстве языков являются фонемы. Они сами по себе не обладают смысловыми значениями, но потенциально связаны со смыслом как элементы единой знаковой системы. В сочетании друг с другом, и нередко по отдельности, они образуют слова и обеспечивают опознавание (идентификацию) и различение (дифференциацию) языковых знаков как значимых единиц.

Как правило, полное описание речевого сигнала только его спектром невозможно. Наряду со спектральной информацией, необходима еще и информация о динамике речи, которую определяют параметры активного состояния фонем. Для расчета параметров и характеристик, идентифицирующих активное состояние фонем в составе слов, наиболее часто применяются классические методы спектрально-временного анализа [4].

Известен [1] алгоритм идентификации параметров активного состояния фонем, функциональная схема которого представлена на рис. 1.

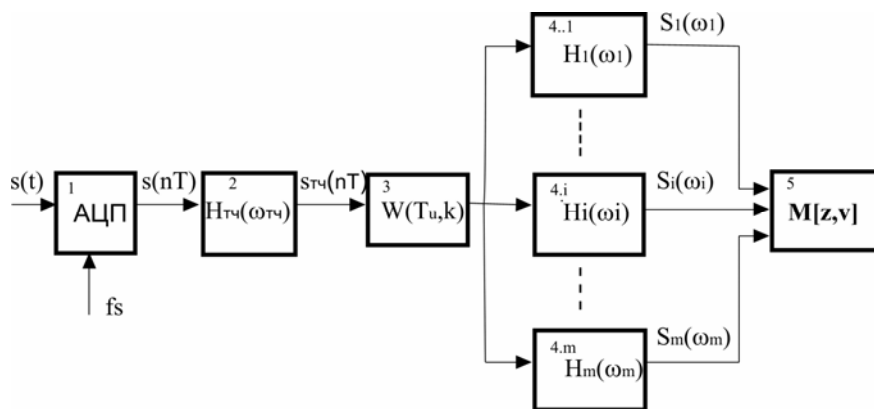


Рис. 1. Функциональная схема алгоритма идентификации параметров активного состояния фонем

Сигнал $s(t)$ преобразовывается в блоке 1 (см. рис. 1) в цифровую форму $s(nT)$ аналого-цифровым преобразователем АЦП на основании обобщенной теоремы отсчетов с частотой дискретизации

$$f_s = 1/T,$$

где T – интервал дискретизации, которая должна быть не менее удвоенной верхней частоты канала тональных частот (ТЧ).

Для последующей обработки сигнал $s(nT)$ обрабатывается в блоке 2 фильтром с передаточной характеристикой $H_{\text{ТЧ}}(\omega_{\text{ТЧ}})$, соответствующей каналу ТЧ:

$$s_{\text{ТЧ}}(nT) = s(nT)H_{\text{ТЧ}}(\omega_{\text{ТЧ}}). \quad (1)$$

Блок 3 осуществляет оконное $W(T_n, k)$ сегментирование сигнала $s_{\text{ТЧ}}(nT)$ с параметрами:

T_n – определяет длительность сегмента идентифицируемого сигнала на основании значения полосы частот $\Delta\omega^{\text{ТЧ}}$ канала ТЧ и постоянной времени слуха T_c [5]

$$T_n = f(\Delta\omega^{\text{ТЧ}}, T_c); \quad (2)$$

k – определяет количество сегментов идентификации и является функцией от T_n и коэффициента перекрытия сегментов идентификации $K_{\text{пер}}$, который обычно [3] принимается равным 0,5.

Идентификацию амплитуд A и мощности N спектральных S_i составляющих формант по n полосам (с серединными частотами $\omega_1 \dots \omega_i \dots \omega_m$) осуществляют блоки фильтров 4.1...4.i...4.m, с передаточными характеристиками $H_i(f_i)$, на выходах которых образуются сигналы

$$S_i(\omega_i) = s_{\text{ТЧ}}(nT)H_i(\omega_i). \quad (3)$$

В блоке 5 осуществляется обработка сигналов $S_i(\omega_i)$ с записью параметров формант (A, N, S_i) в матрицу эталонов идентификационных признаков абонентов $M[z, v]$, где z – вектор абонентов, v – вектор идентификационных параметров абонента.

Рассмотренный алгоритм позволяет анализировать фрагменты речевых сигналов на временном отрезке T_n . Таким образом, дискретность определения времени активного состояния фоновы зависит от T_n , что вносит погрешность в идентификационные параметры v абонента.

В данной работе предложен алгоритм идентификации фонем, основанный на анализе изменения несущей частоты при фазовой демодуляции речевого сигнала абонента. В основе алгоритма лежит наблюдение, что при фазовой демодуляции речевого сигнала, значение несущей частоты изменяется на границах фонем, а значит, может быть представлено как идентификационный параметр.

Сигнал $s(t)$ на интервале времени идентификации T_p является сигналом с конечной энергией, не содержит дельта-функций и разрывов. Основываясь на этом можно предположить, что параметры его изменения можно определить, исследуя девиацию несущей частоты $\Delta\omega_n$, при представлении речевого сигнала как сигнала с угловой модуляцией.

Представим речевой сигнал $s(t)$ на сегменте идентификации T_p в виде сигнала несущей с частотой ω_n , который модулирован информационным сигналом $s_y(t)$. Мгновенные амплитуда $A_y(t)$ и фаза $\varphi_y(t)$ сигнала $s(t)$ изменяются по закону Y передаваемого сообщения

$$s(t) = A_y(t) \cos[\omega_n t + \varphi_y(t) + \varphi_0], \quad (4)$$

где $A_y(t)$ – амплитудная огибающая сигнала $s(t)$; $\varphi_y(t)$ – мгновенная фаза сигнала $s(t)$; φ_0 – начальная фаза сигнала $s(t)$.

Весь аргумент функции \cos выражения (4) представляет полную фазу $\Psi(t)$ сигнала $s(t)$:

$$\Psi(t) = \omega_n t + \varphi_y(t) + \varphi_0. \quad (5)$$

Для выделения мгновенной амплитуды и фазы применим метод низкочастотного эквивалента [6], который заключается в замене исходного сигнала $s(t)$ его комплексной огибающей. Запишем сигнал $s(t)$ в экспоненциальной форме

$$s(t) = \text{Re}\{A_y(t)e^{j\Psi(t)}\}. \quad (6)$$

Выражение в фигурных скобках является комплексной функцией действительной переменной

$$\dot{S}(t) = A_y(t)\{\cos[\Psi(t)] + j \sin[\Psi(t)]\}, \quad (7)$$

действительная часть которой совпадает с исходным сигналом $s(t)$, а мнимая часть

$$u(t) = A_y(t)\sin[\Psi(t)] \quad (8)$$

отличается от исходного сигнала поворотом фазы на угол $(-\pi/2)$ и является сопряженным гармоническим сигналом. Сопряженный гармонический сигнал получаем из исходного $s(t)$, проведя над ним преобразование Гильберта

$$u(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{T_c} \frac{s(\tau)}{\tau - t} d\tau, \quad (9)$$

где t – текущее время; τ – подынтегральное время свертки.

Данный интеграл представляет собой линейную свертку сигнала $s(\tau)$ и функции $1/\pi\tau$ и, таким образом, является идеальным фазовращателем, вносящим на всех частотах фазовый сдвиг, равный -90° .

Можно определить модуль мгновенной огибающей $A_y(t)$ сигнала $s(t)$

$$A_y(t) = \sqrt{s^2(t) + u^2(t)}, \quad (10)$$

полную мгновенную фазу

$$\Psi(t) = \arctg \left[\frac{u(t)}{s(t)} \right] \quad (11)$$

и мгновенную частоту $\omega'(t)$

$$\begin{aligned} \omega'(t) &= \frac{d\Psi(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left\{ \arctg \left[\frac{u(t)}{s(t)} \right] \right\} = \\ &= \frac{s(t) \frac{du(t)}{dt} - u(t) \frac{ds(t)}{dt}}{s^2(t) + u^2(t)}. \quad (12) \end{aligned}$$

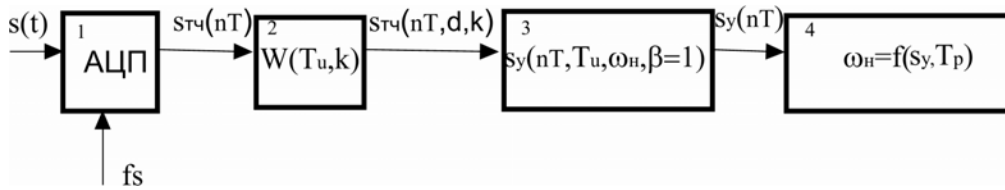


Рис. 2. Функциональная схема алгоритма идентификации параметра несущей частоты фонем

Блок 2 осуществляет оконное $W(T_u, k)$ сегментирование сигнала $s_{Tч}(nT)$. Таким образом, сигнал на выходе блока 2 будет определяться

$$s(nT, T_u, k) = s(nT)W(T_u, k). \quad (15)$$

Блок 3 производит декодирование сигнала $s(nT, T_u, k)$ в соответствии с выражением (13) на сегменте длительностью T_u с определением значения несущей частоты ω_n

$$s_y(nT, T_u, \omega_n, \beta=1) = \Psi(nT) - \omega_n nT - \varphi_0, \quad (16)$$

Выделив в мгновенной частоте постоянную несущую ω_n и начальную фазу φ_0 , можно вычислить мгновенную фазу $\varphi_y(t)$

$$\varphi_y(t) = \Psi(t) - \omega_n t - \varphi_0 = s_y(t), \quad (13)$$

которая является искомой информационной составляющей $s_y(t)$ в фазомодулированном речевом сигнале $s(t)$.

Под индексом фазовой модуляции β понимают [6] отношение девиации несущей частоты $\Delta\omega_n$ к частоте ω_y модулирующего сигнала $s_y(t)$. Потребуем неизменности индекса модуляции на интервале времени T_p и положим его равным единице $\beta=1$

$$\beta = \frac{\Delta\omega_n}{\omega_y} \Big|_{T_p} = 1. \quad (14)$$

В этом случае можно предположить, что изменения мгновенной фазы информационной составляющей $\varphi_y(t)$ (13) на интервале T_p будут отражены в функции девиации несущей частоты $\Delta\omega_n$.

С целью увеличения точности идентификации параметров фонем предлагается дополнить существующие методы следующим алгоритмом.

Сигнал $s(t)$ преобразовывается в блоке 1 (рис. 2) в цифровую форму $s(nT)$ аналого-цифровым преобразователем АЦП с частотой дискретизации f_s .

где T_u – время идентификации несущей частоты ω_n .

В блоке 4 определяются значения несущей частоты ω_n на интервале времени T_p .

По предлагаемому алгоритму был произведен расчет несущей частоты ω_n морфем «АКУЛА», «НАУКА» и «КУКЛА», содержащих одинаковые фонемы.

В результате расчетов, которые проводились в программной среде MatLab 6.5, получены следующие графики (рис. 3–5).

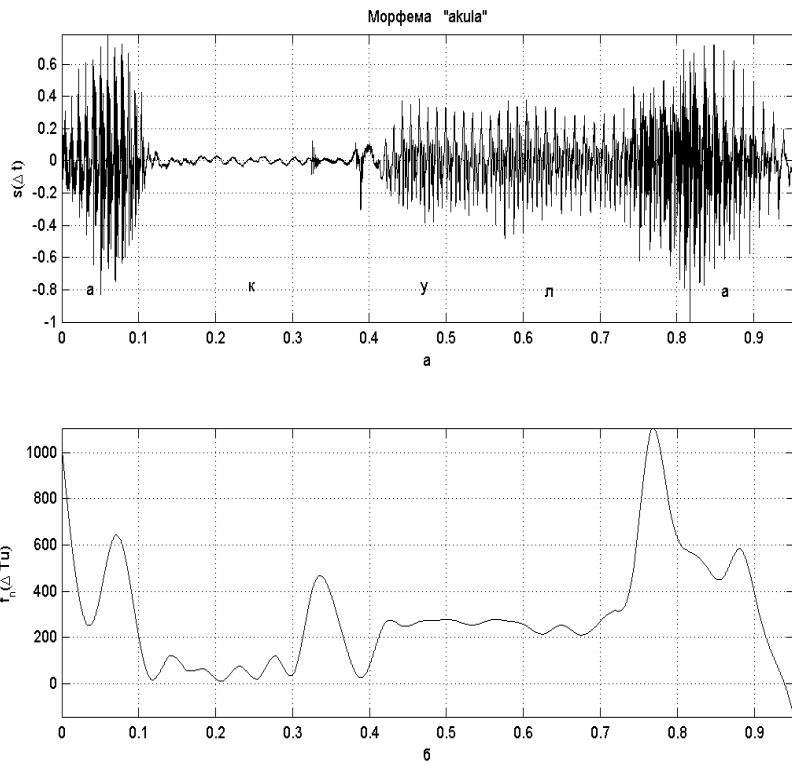


Рис. 3. Графики анализа морфемы «АКУЛА»:
 а – график зависимости сигнала морфемы от времени $s(nT)$; б – график девиации параметра несущей частоты на интервале времени идентификации $\omega_n(T_p)$

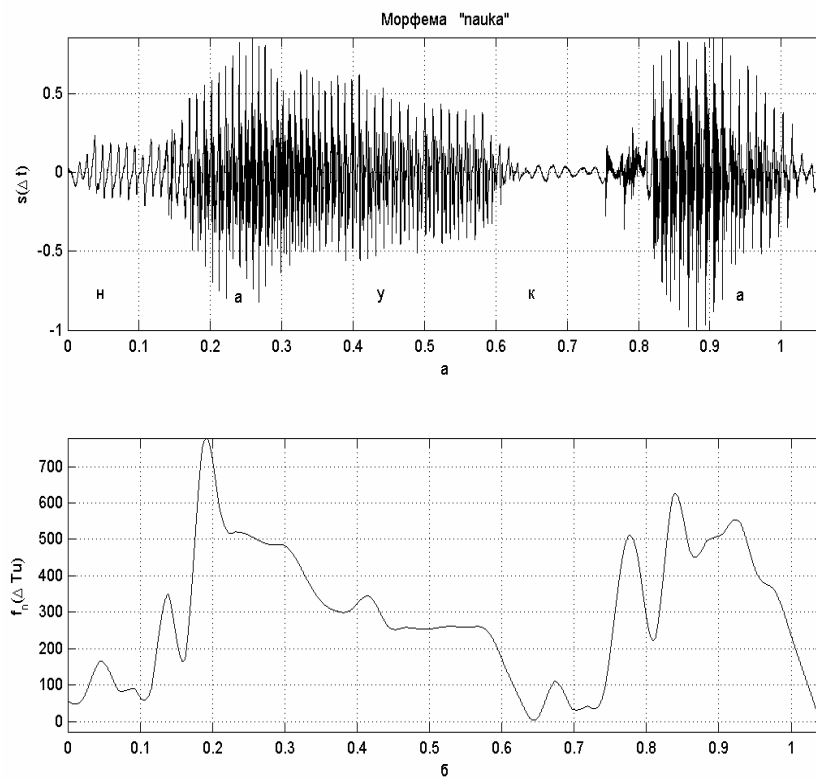


Рис. 4. Графики анализа морфемы «НАУКА»:
 а – график зависимости сигнала морфемы от времени $s(nT)$;
 б – график девиации параметра несущей частоты на интервале времени идентификации $\omega_n(T_u)$

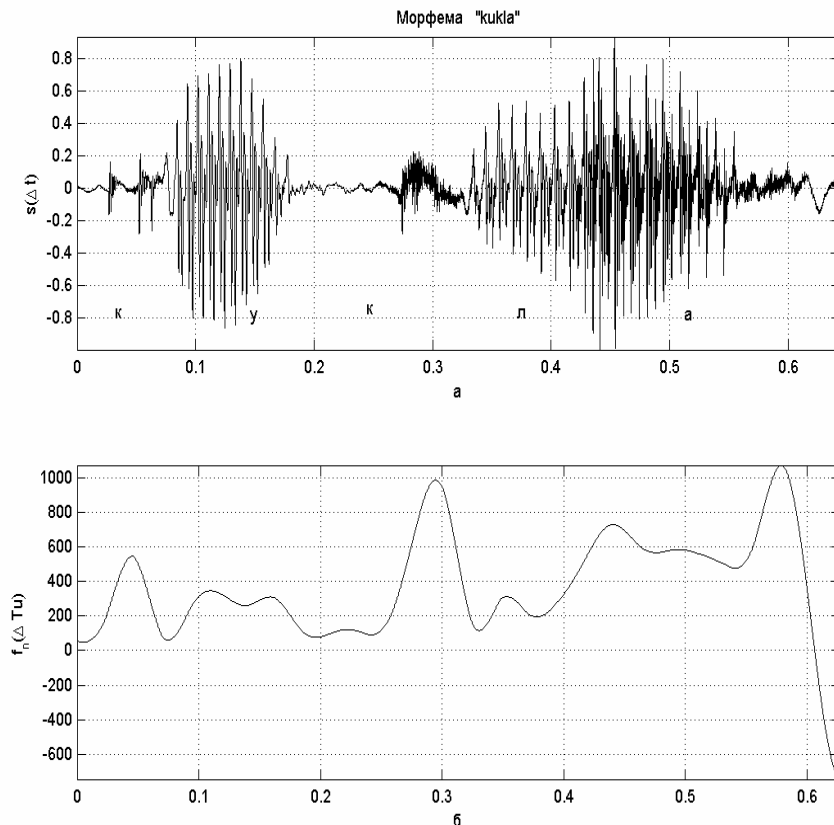


Рис. 5. Графики анализа морфемы «КУКЛА»:

а – график зависимости сигнала морфемы от времени $s(nT)$;

б – график девиации параметра несущей частоты на интервале времени идентификации $\omega_n(T_u)$

Речевой сигнал морфем записывался на жесткий диск ПЭВМ с частотой дискретизации 96 кГц и 16-разрядным квантованием по уровню.

Проведя анализ вариации параметра несущей частоты $\omega_n(T_u)$ для вокализованных фонем «а», «у» и «л» на интервале T_p , можно сделать следующие выводы:

- несущая частота фонемы «а» лежит в пределах 480...650 Гц;
- несущая частота фонемы «у» лежит в пределах 220...250 Гц;
- несущая частота фонемы «л» лежит в пределах 180...270 Гц.

Однако характер девиации несущей частоты $\omega_n(T_u)$ на интервале идентификации вокализованных фонем разный, поэтому для определения обобщенных зависимостей параметров идентификации требуется проведение дополнительных исследований.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности применения предложенного алгоритма при идентификации параметров фонем.

Повышение эффективности идентификации достигается на основании проведения, дополнительно к существующим методам, анализа девиации несущей частоты фонем речи, представленной в виде сигнала с фазовой модуляцией.

Увеличение точности идентификации возможно при анализе статистической обработки девиации значений параметра несущей частоты для фонем идентифицируемого абонента сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лалетин П. А. Использование сетей с самостоятельной адаптацией для распознавания слов человеческой речи / П. А. Лалетин, Э. Г. Лалетина, Ю. П. Ланкин // Научная сессия МИФИ-2000. 2-я Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2000»: Сборник научных трудов. В 2-х частях. Ч. 2. – М.: МИФИ, – 2000. – С. 88–95.
2. Старушко Д. Г. Новая система признаков для распознавания речевых единиц / Д. Г. Старушко, В. Ю. Шелепов // Штучный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 48–53.

3. Филимонов В. В. Опыт создания системы автоматического распознавания русской речи: Тезисы международной конференции «Информатизация правоохранительных систем», – М.: 1998. Ч. 2, – С. 104–106.
4. Бондарко Л. В. Звуковой строй современного русского языка. – М.: Просвещение, 1997. – 175 с.
5. Цвикер Э. Ухо как приемник информации / Э. Цвикер, Р. Фельдкеллер; Пер. с нем. под ред. Б. Г. Белкина. – М.: Связь, 1971. – 225 с.
6. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.

Поступила в редколлегию 29.10.2005.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ОПОРНО-ОСЕВОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ НАДРЕССОРНОГО СТРОЕНИЯ

Розроблена математична модель, що дозволяє визначати значення динамічного моменту на валу тягового двигуна з урахуванням коливань кузова і візків, під час руху локомотива по безперервних і ізольованих нерівностях. Отримані чисельні значення амплітуд коливань кузова, візків і динамічного моменту на валу тягового двигуна під час руху локомотива із швидкістю 160 км/год.

Разработана математическая модель, позволяющая определять значение динамического момента на валу тягового двигателя с учетом колебаний кузова и тележек, при движении локомотива по непрерывным и изолированным неровностям. Получены численные значения амплитуд колебаний кузова, тележек и динамического момента на валу тягового двигателя при движении локомотива со скоростью 160 км/ч.

A mathematical model has been developed allowing to determine a value of dynamic moment on the shaft of a traction motor in view of oscillations of the body and bogies in the locomotive movement on continuous and isolated irregularities. Numerical values of amplitudes of oscillations of a body, vehicles and the dynamic moment on the shaft of a traction motor are obtained at driving the locomotive with a speed 160 km/h.

В связи с вводом в эксплуатацию на железных дорогах Украины скоростных пассажирских поездов [1], появилась необходимость в создании новых типов локомотивов, удовлетворяющих современным требованиям по надежности, тяговым свойствам и эксплуатационным затратам. Как показано в [2], локомотив, предназначенный для тяги малосоставных пассажирских поездов со скоростью до 160 км/ч можно создать на базе асинхронного тягового привода с опорно-осевой подвеской [3–9].

В тяговом приводе протекают основные энергетические процессы, определяющие эффективность локомотива, как тягово-энергетической установки [10]. Механическая часть привода во многом является определяющей с точки зрения как уровня воздействия колес на путь с одной стороны, а с другой стороны динамических сил и моментов на тяговый двигатель и далее на систему электромеханического преобразования энергии [11; 12].

Возникновение сил и моментов, действующих на элементы тягового привода при взаимодействии колеса и рельса в вертикальной плоскости, а также колебания наддресорного строения обусловлены использованием колес и рельсов в качестве элементов подвеса.

Решающим признаком, определяющим нагружение тягового двигателя динамическим моментом является степень непосредственной связи угла поворота ротора тягового двигателя с составляющей возмущения характеризующейся наиболее высоким уровнем скоростей и

ускорений. Применительно к локомотиву с опорно-осевым тяговым приводом, такой составляющей являются вертикальные перемещения колесной пары при взаимодействии с неровностями пути [13; 14]. Возникновение динамического момента на валу тягового двигателя приводит к развитию электромагнитных переходных процессов в его электрической части, что, в конечном счете, неблагоприятно сказывается на качестве реализуемого им электромагнитного момента [15]. Поэтому определение диапазона изменения динамического момента, особенно его верхней границы, на валу тягового двигателя имеет важное значение с точки зрения выбора параметров электрической части тягового привода.

Вместе с тем, при выборе рациональной расчетной схемы, возникает необходимость рассмотреть и колебания элементов наддресорного строения, с целью выяснения степени их влияния на значение динамического момента.

Таким образом, цель работы: определить величину динамического момента на валу тягового двигателя при взаимодействии с различными типами неровностей пути на различных скоростях движения и исследовать влияние колебаний наддресорного строения на его значение; обосновать выбор различных расчетных схем при определении динамического момента на валу тягового двигателя.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- создать математическую модель, устанавливающую связь между массогабаритными характеристиками расчетной схемы, возмущающими функциями, скоростью движения и динамическим моментом на валу тягового двигателя;

- провести цифровое моделирование и установить зависимости величины динамического момента от перечисленных параметров;

- на основании анализа полученных результатов привести рекомендации относительно выбора рациональных расчетных схем.

Построение математической модели основывается на следующих допущениях:

- рассматриваемая система состоит из абсолютно жестких тел соединенных упругими элементами, параллельно которым включены гасители колебаний;

- в колебаниях участвует масса тележки и половина массы кузова;

- в качестве возмущения принимается взаимодействие с волнообразными неровностями различной длины и рельсовыми стыками [26–29].

При составлении уравнений движения механической системы тяговый привод – наддресорное строение используются уравнения Лагранжа второго рода [16; 17; 25]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i, \quad i=1,2,\dots,n, \quad (1)$$

где q_i, \dot{q}_i – обобщенная координата и скорость; Q_i – обобщенная сила не имеющая потенциала; T, Π, Φ – кинетическая, потенциальная и диссипативная энергия системы; n – число степеней свободы системы.

Расчетная схема с учетом колебаний наддресорного строения представлена системой с тремя степенями свободы (рис. 1).

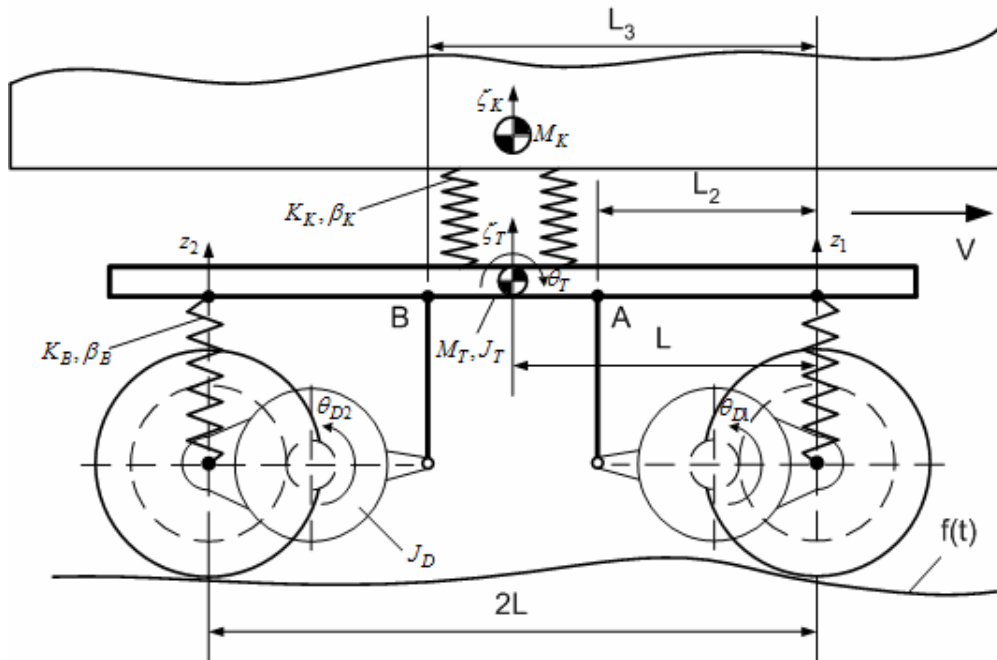


Рис. 1. Расчетная схема

Расчетная схема предполагает жесткое крепление тягового двигателя к раме тележки и отсутствие упругого венца зубчатого колеса, что представляет собой один из наиболее неблагоприятных вариантов конструкции, с точки зрения воздействия на тяговый двигатель динамических сил и моментов [13]. В качестве независимых обобщенных координат системы выбраны вертикальные перемещения центра масс рамы тележки ζ_T , поворот рамы тележки вокруг поперечной оси проходящей через центр масс θ_T и вертикальные перемещения кузова ζ_K . Также введены в рассмотрение уг-

ловые координаты поворота остовов тяговых двигателей θ_{D1} и θ_{D2} . Обратим внимание на то, что координаты θ_{D1} и θ_{D2} не являются независимыми, так как полностью определяются вертикальными перемещениями точек А и В на раме тележки (см. рис. 1) и неровностями рельсового пути, описываемыми функцией $f(t)$.

Кинетическая энергия системы имеет вид

$$T = \frac{1}{2} M_T \dot{\zeta}_T^2 + \frac{1}{2} J_T \dot{\theta}_T^2 + \frac{1}{2} M_K \dot{\zeta}_K^2 + \frac{1}{2} J_D \dot{\theta}_{D1}^2 + \frac{1}{2} J_D \dot{\theta}_{D2}^2, \quad (2)$$

где M_T, J_T – масса и момент инерции рамы тележки с установленным на ней оборудованием; M_K – половина массы кузова; J_D – момент инерции тягового двигателя относительно поперечной оси, проходящей через его центр масс.

Потенциальная энергия системы имеет вид

$$\Pi = \frac{1}{2}k_B(z_1 - f(t))^2 + \frac{1}{2}k_B(z_2 - f(t - \tau))^2 + \frac{1}{2}k_K(\zeta_K - \zeta_T)^2, \quad (3)$$

где k_B, k_K – жесткость пружин буксовой и кузовной ступени; $\tau = 2L/V$ – транспортное запаздывание.

Выражение диссипативной энергии аналогично выражению потенциальной энергии

$$\Phi = \frac{1}{2}\beta_B(\dot{z}_1 - \dot{f}(t))^2 + \frac{1}{2}\beta_B(\dot{z}_2 - \dot{f}(t - \tau))^2 + \frac{1}{2}\beta_K(\dot{\zeta}_K - \dot{\zeta}_T)^2, \quad (4)$$

где β_B, β_K – коэффициенты демпфирования гасителей колебаний буксовой и кузовной ступени.

Выражения кинетической и потенциальной энергии с диссипативной энергией мы записали в разных координатах. Это приводит к отсутствию во всех выражениях произведений координат или скоростей. Но поскольку для численного решения математической модели необходимо иметь одинаковые обобщенные координаты во всех уравнениях, выразим координаты $\zeta_T, \theta_T, \zeta_K, \theta_{D1}, \theta_{D2}$ через z_1, z_2 и $f(t)$ [18].

Рассмотрим систему в одном из положений при колебаниях относительно положения статического равновесия (рис. 2).

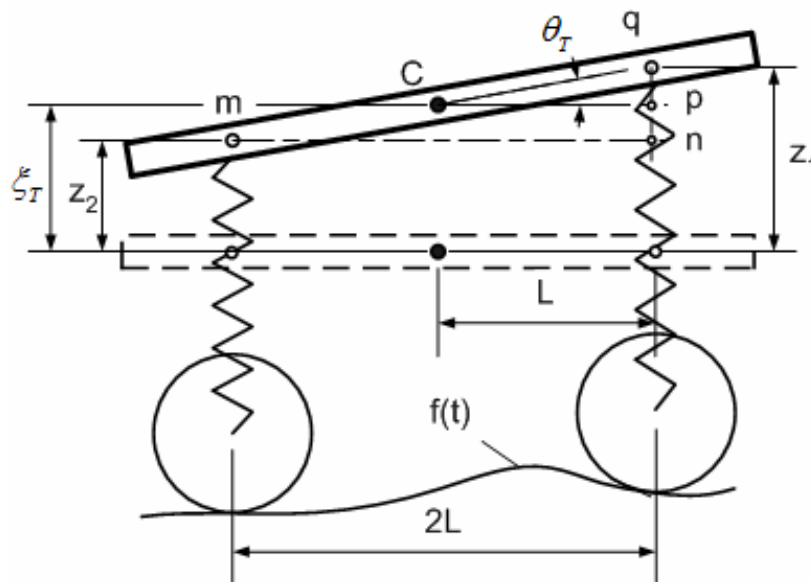


Рис. 2. К определению обобщенных координат

На схеме видно, что треугольник mnq подобен треугольнику crq . Следовательно,

$$nq/pq = 2L/L,$$

$$pq = nq \cdot L/2L = nq/2.$$

Таким образом,

$$\zeta_T = z_1 - pq = z_1 - nq/2,$$

но поскольку

$$nq = z_1 - z_2,$$

то

$$\zeta_T = z_1 - \frac{z_1 - z_2}{2}. \quad (5)$$

Поскольку рассматриваются малые колебания, принимаем $\sin \theta_T \approx \theta_T$. Следовательно,

$$\theta_T = \frac{z_1 - z_2}{2L}. \quad (6)$$

Аналогичным образом получим выражения для θ_{D1} и θ_{D2} . Угловые координаты поворота тяговых двигателей θ_{D1} и θ_{D2} определяются вертикальными перемещениями z_A и z_B , а также функцией вертикальных неровностей пути – $f(t)$ (см. рис. 1). Таким образом,

$$\theta_{D1} = \frac{f(t) - z_A}{L_2},$$

$$\theta_{D2} = \frac{z_B - f(t - \tau)}{L_2}. \quad (7)$$

Выразим z_A и z_B через z_1 и z_2

$$\begin{aligned} z_A &= z_1 - \frac{L_2(z_1 - z_2)}{2L}, \\ z_B &= z_1 - \frac{L_3(z_1 - z_2)}{2L}. \end{aligned} \quad (8)$$

Подставив (8) в (7) и проведя необходимые преобразования, получим:

$$\begin{aligned} \theta_{D1} &= -\frac{2L \cdot z_1 - L_2 \cdot z_1 + L_2 \cdot z_2 - 2L \cdot f(t)}{2 \cdot L \cdot L_2}, \\ \theta_{D2} &= \frac{2L \cdot z_1 - L_3 \cdot z_1 + L_3 \cdot z_2 - 2L \cdot f(t - \tau)}{2 \cdot L \cdot L_2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Переход от угловой координаты поворота остова тягового двигателя к угловой координате поворота ротора осуществляется с помощью выражения [13; 21]:

$$\theta_{Ri} = (1 + u)\theta_{Di}, \quad (10)$$

где θ_{Ri} – угловая координата поворота ротора; u – передаточное отношение зубчатого редуктора.

Принимая $\zeta_K = z_3$ и подставляя (5), (6) и (9) в (2), получим окончательно выражение кинетической энергии

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} M_T \left(\dot{z}_1 - \frac{\dot{z}_1 - \dot{z}_2}{2} \right)^2 + \\ &+ \frac{1}{2} J_T \left(\frac{\dot{z}_1 - \dot{z}_2}{2L} \right)^2 + \frac{1}{2} M_K \dot{z}_3^2 + \frac{1}{2} J_D \times \\ &\times \left(-\frac{2L\dot{z}_1 - L_2\dot{z}_1 + L_2\dot{z}_2 - 2L\dot{f}(t)}{2LL_2} \right)^2 + \frac{1}{2} J_D \times \\ &\times \left(\frac{2L\dot{z}_1 - L_3\dot{z}_1 + L_3\dot{z}_2 - 2L\dot{f}(t - \tau)}{2LL_2} \right)^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Выражения потенциальной энергии и диссипативной функции системы соответственно имеют вид

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} k_B (z_1 - f(t))^2 + \frac{1}{2} k_B (z_2 - f(t - \tau))^2 + \\ &+ \frac{1}{2} k_K \left(z_3 - \left(z_1 - \frac{z_1 - z_2}{2} \right) \right)^2, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{1}{2} \beta_B (\dot{z}_1 - \dot{f}(t - \tau))^2 + \frac{1}{2} \beta_B (\dot{z}_2 - \dot{f}(t))^2 + \\ &+ \frac{1}{2} \beta_K \left(\dot{z}_3 - \left(\dot{z}_1 - \frac{\dot{z}_1 - \dot{z}_2}{2} \right) \right)^2. \end{aligned} \quad (12)$$

Производя необходимые операции дифференцирования согласно (1), получим систему уравнений описывающих вынужденные колебания рассматриваемой системы

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} M_T \left(\frac{\ddot{z}_1 + \ddot{z}_2}{2} \right) + \frac{J_T}{4L^2} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2) + \frac{J_D}{L_2^2} \times \\ \times \left(\ddot{f}(t) - \ddot{z}_2 + \frac{L_2}{2L} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2) \right) \left(-1 + \frac{L_2}{2L} \right) - \frac{J_D}{L_2^2} \times \\ \times \left(\ddot{z}_1 - \frac{L_2}{2L} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2) - \ddot{f}(t - \tau) \right) \left(1 - \frac{L_3}{2L} \right) + \\ + \beta_B (\dot{z}_1 - \dot{f}(t - \tau)) - \frac{1}{2} \beta_K \left(\dot{z}_3 - \frac{\dot{z}_1}{2} - \frac{\dot{z}_2}{2} \right) + \\ + k_B (z_1 - f(t)) - \frac{1}{2} k_K \left(z_3 - \frac{z_1}{2} - \frac{z_2}{2} \right) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} M_T \left(\frac{\ddot{z}_1 + \ddot{z}_2}{2} \right) + \frac{J_T}{4L^2} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2) - \frac{J_D}{2L_2L} \times \\ \times \left(\ddot{f}(t) - \ddot{z}_1 - \frac{L_2}{2L} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2) \right) + \frac{J_D L_3}{2L_2^2 L} \times \\ \times \left(\ddot{z}_1 - \frac{L_3}{2L} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2) - \ddot{f}(t - \tau) \right) + \beta_B (\dot{z}_2 - \dot{f}(t)) - \\ - \frac{1}{2} \beta_K \times \left(\dot{z}_3 - \frac{\dot{z}_1}{2} - \frac{\dot{z}_2}{2} \right) + k_B (z_2 - f(t - \tau)) - \\ - \frac{1}{2} k_K \left(z_3 - \frac{z_1}{2} - \frac{z_2}{2} \right) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_K \ddot{z}_3 + \beta_K \left(\dot{z}_3 - \frac{\dot{z}_1}{2} - \frac{\dot{z}_2}{2} \right) + \\ + k_K \left(z_3 - \frac{z_1}{2} - \frac{z_2}{2} \right) = 0. \end{aligned}$$

В качестве функции, моделирующей изолированные неровности, используется усредненная геометрическая неровность, описываемая функцией [19]

$$f(t) = \frac{\eta}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi V t}{S} \right) \right), \quad (13)$$

где η – глубина неровности; V – скорость движения локомотива; S – длина неровности.

Длина неровностей такого типа может колебаться от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Если длина неровностей меньше базы тележки, то возмущения необходимо задавать в соответствии со следующим условиями [20]:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\eta}{2} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi V t}{S}\right) \right) & \text{при } 0 < t \leq t_N; \\ 0 & \text{при } t_N < t \leq \tau; \\ 0 & \text{при } \tau < t \leq (\tau + t_N); \\ 0 & \text{при } (\tau + t_N) < t \leq T, \end{cases}$$

$$f(t - \tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < t \leq t_N; \\ 0 & \text{при } t_N < t \leq \tau; \\ \frac{\eta}{2} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi V (t - \tau)}{S}\right) \right) & \text{при } \tau < t \leq (\tau + t_N); \\ 0 & \text{при } (\tau + t_N) < t \leq T, \end{cases}$$

где $t_N = S/V$ – время прохождения неровности; T – период повторения неровности; $\tau = 2L/V$ – транспортное запаздывание.

Цифровое моделирование проводилось для скорости движения 160 км/ч, при следующих значениях основных параметров расчетной схемы:

$$M_T = 7\,000 \text{ кг}, \quad M_K = 30\,000 \text{ кг},$$

$$J_T = 14\,000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \quad J_D = 1\,000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

$$k_B = 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}, \quad k_K = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м},$$

$$\beta_B = 6 \cdot 10^4 \text{ Н/(м/с)}, \quad \beta_K = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/(м/с)},$$

$$L = 1,3 \text{ м}, \quad L_2 = 1 \text{ м}, \quad L_3 = 1,6 \text{ м}.$$

Рассматривалось прохождение локомотива по участку пути, имеющему волнообразный износ рельсов с длиной волны 3 м при амплитуде 2 мм, и взаимодействие с рельсовым стыком.

В результате цифрового моделирования [22–24] были получены амплитуды колебаний подпрыгивания и галопирования тележки, амплитуды колебаний подпрыгивания кузова и амплитуды динамических моментов на валах тяговых двигателей для указанных вариантов расчета.

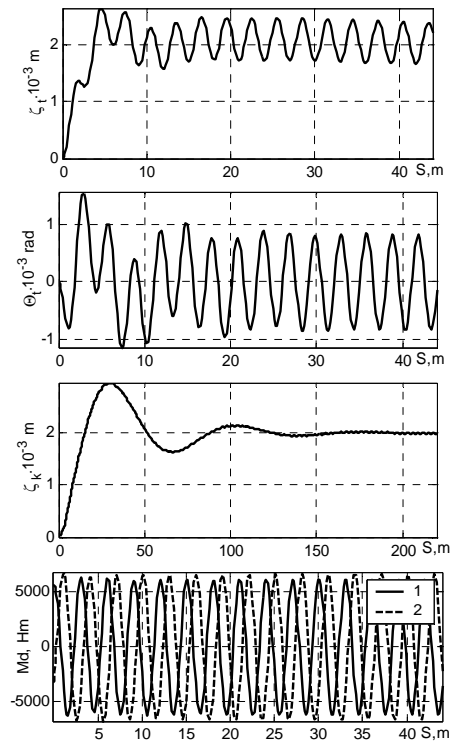


Рис. 3. Зависимости перемещений подпрыгивания и галопирования тележки, перемещений подпрыгивания кузова и амплитуд динамических моментов на валах тяговых двигателей от пройденного пути при взаимодействии локомотива с волнообразными неровностями рельсового пути на скорости 160 км/ч

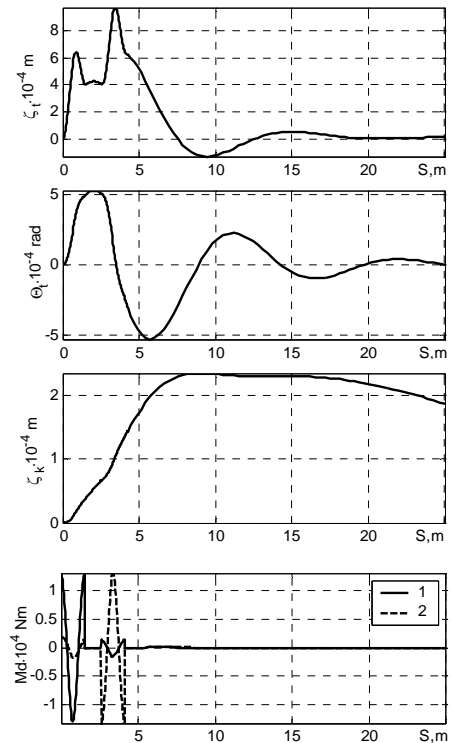


Рис. 4. Зависимости перемещений подпрыгивания и галопирования тележки, перемещений подпрыгивания кузова и амплитуд динамических моментов на валах тяговых двигателей от пройденного пути при проходе стыка рельсов на скорости 160 км/ч

Из графиков, приведенных на рис. 3 видно, что при взаимодействии локомотива с волнообразными неровностями перемещения подпрыгивания и галопирования тележки носят установившийся периодический характер с амплитудами $2,5 \cdot 10^{-3}$ м и $1 \cdot 10^{-3}$ рад соответственно. Перемещения подпрыгивания кузова имеют быстрозатухающий всплеск и далее происходят с малой амплитудой около значения $2 \cdot 10^{-3}$ м. Колебания динамического момента на валах тяговых двигателей имеют амплитуду порядка 5 200 Нм и происходят с частотой равной частоте возмущающего воздействия. Как видно на графиках, частота колебаний динамических моментов на валах тяговых двигателей, по меньшей мере, в 2 раза превосходит частоту колебаний элементов наддресорного строения. Это позволяет сделать вывод, что влияние колебаний наддресорного строения на величину динамического момента в этом случае незначительно.

При прохождении рельсового стыка перемещения тележки, как это видно на рис. 4, имеют характерные пики, которые практически затухают до прохождения следующего стыка, если принять длину рельсового звена равной 25 м. Колебания подпрыгивания кузова затухают несколько медленнее, что по видимому обусловлено его более низкой собственной частотой колебаний. Скачки динамического момента имеют место, как это видно на графике, непосредственно в момент прохода колесами рельсовых стыков. Величина динамического момента достигает при этом 12 000 Нм, что почти в 2,5 раза превосходит величину номинального момента, реализуемого тяговым двигателем. Взаимодействие колеса со стыком рельсов происходит за очень короткий промежуток времени и носит практически ударный характер. Перемещения элементов наддресорного строения, вызванные этим взаимодействием, как видно на графиках, достаточно малы и не оказывают заметного влияния на величину динамического момента.

Как показал расчет, максимальные величины динамической составляющей момента на валу тягового двигателя при скорости движения 160 км/ч могут превосходить величину номинального момента, реализуемого двигателем, и вызывать развитие переходных процессов в электрической части тягового двигателя и питающем его преобразователе. Результаты цифрового моделирования показали, что учет колебаний наддресорного строения при определении величины динамического момента на валах тяговых двигателей для рассмотренных вариантов не является определяющим.

Выводы

1. Разработана математическая модель, позволяющая анализировать динамические процессы в механической части тягового привода с учетом влияния колебаний наддресорного строения локомотива.

2. Максимальные величины динамических моментов на валах тяговых двигателей при скорости 160 км/ч, полученных в результате цифрового моделирования, составляют: 5 200 Нм – при движении по волнообразным неровностям и 12 000 Нм – при взаимодействии с рельсовым стыком, что требует их обязательного учета при моделировании системы электромеханического преобразования энергии.

3. Колебания наддресорного строения локомотива не оказывают определяющего влияния на значения динамических моментов на валах тяговых двигателей. Это дает возможность использовать для определения динамических моментов на валах тяговых двигателей более простую модель, рассматривающую движение отдельного колесно-моторного блока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кірка Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. 2-ге вид., переробл. і допов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
2. Кривякин Г. В. Возможности повышения скоростей движения пассажирских локомотивов, обусловленные применением тяговой передачи с опорно-осевой подвеской на базе асинхронных тяговых двигателей // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 24. – С. 35–40.
3. Ротанов Н. А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н. А. Ротанов, Ю. Г. Быков и др; Под ред. Н. А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
4. Тепловозы XXI века // Железные дороги мира. – 1999. – № 3. – С. 38–42.
5. Пропп Д. Х., Тепловозы с асинхронным приводом и их эксплуатация // Железные дороги мира. – 1997. – №9. – С. 28–29.
6. Европейские электровозы нового поколения // Железные дороги мира. – 1997. – № 10. – С. 9–40.
7. Семейство электровозов Euro Sprinter // Железные дороги мира. – 1999. – № 11. – С. 5–10.
8. Тепловозы с электрической передачей переменного тока на железных дорогах США // Железные дороги мира. – 1997. – № 1. – С. 23–26.

9. Мощный тепловоз AC6000 компании General Electric // Железные дороги мира. – 1998. – № 3. – С. 26–31.
10. Бахвалов Ю. А. / Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Бахвалов, А. А. Зарифьян и др. – М.: Транспорт, 2001 – 286 с.
11. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган; Под ред. М. Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
12. Бочаров В. И. Тяговые двигатели электровозов / В. И. Бочаров, В. И. Захаров и др.; Под ред. В. Г. Щербакова. – Новочеркасск: Агентство Наутилус, 1998. – 672 с.
13. Бирюков И. В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
14. Павленко А. П. Динамика тяговых приводов магистральных локомотивов. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
15. Никитенко А. Г. Математическое моделирование динамики электровозов / А. Г. Никитенко, Е. М. Плохов и др.; Под ред. А. Г. Никитенко. М., Высш. шк., 1998. – 274 с.
16. Николаи Е. Л. Теоретическая механика. Ч. 2. – М.: ГИТТЛ, 1950. – 484 с.
17. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 296 с.
18. Мандельштам Л. И. Лекции по колебаниям. – М.: Издательство академии наук СССР, 1955. – 503 с.
19. Кудрявцев Н. Н. Исследование динамики необрессоренных масс вагонов // Труды ВНИИЖТ.– Транспорт. – 1965. – Вып. 287.
20. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств / Радченко Н. А. – К.: Наук. Думка, 1988. – 216 с.
21. Колчин Н. И. Механика машин. Т. 1. – Л.: Машиностроение, 1971. – 560 с.
22. Поршнев С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2003. – 592 с.
23. Потемкин В. Г. Вычисления в среде MATLAB. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. – 720 с.
24. Чен К. MATLAB в математических исследованиях / К. Чен, П. Джинлинг, А. Ирвинг; Пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 346 с.
25. Ушкалов В. Ф. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / Ушкалов В. Ф., Резников Л. М. и др.; Под ред. В. Ф. Ушкалова; АН УССР. Ин-т техн. механики. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
26. Кларк Р. Волнообразный износ рельсов // Железные дороги мира. – 1985. – № 3. – С. 55–60.
27. Кулагин М. И. Волнообразный износ рельсов / М. И. Кулагин, Э. И. Кац, В. Н. Тюрников. – М.: Транспорт, 1970. – 144 с.
28. Пахомов М. П. Воздействие на путь электровоза в зоне стыка // Вестн. ВНИИЖТ. – 1957. – № 4. – С. 30–34.
29. Ушкалов В. Ф. Анализ вертикальных ускорений буксовых узлов транспортного экипажа при движении со скоростями до 245 км/ч / В. Ф. Ушкалов, С. Ф. Редько, В. В. Кулябко, В. П. Шабельский. // Некоторые задачи механики скоростного наземного транспорта. – К., 1974. – С. 111–116.

Поступила в редколлегию 14.09.2005.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРВІСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦІ

Розглянуто питання функціонування залізниць в умовах ринку транспортної продукції та послуг, що формується. Приведено математичну модель розподілу ресурсів на полігоні для забезпечення сервісу перевезень. Зроблено висновок про практичне застосування даної моделі у взаємодіючих автоматизованих робочих місцях оперативних працівників для реалізації необхідного рівня сервісу.

Рассмотрены вопросы функционирования железных дорог в условиях формирующегося рынка транспортной продукции и услуг. Приведена математическая модель распределения ресурсов на полигоне для обеспечения сервиса перевозок. Сделан вывод о практическом применении данной модели во взаимодействующих автоматизированных рабочих местах оперативных работников для реализации необходимого уровня сервиса.

The problems of railway operation in conditions of developing market of transport products and services have been considered. A mathematical model of distribution of resources on the testing area for ensuring the traffic service has been provided. A conclusion has been made about practical application of this model into cooperated automated workplaces of operative staff to ensure realization of the necessary level of service.

У даний час конкурентна політика різних видів транспорту усе в більшій мірі визначається рівнем якості наданих послуг. Згідно з Концепцією реструктуризації на залізничному транспорті України здійснення заходів щодо підвищення конкурентоспроможності повинно бути спрямоване на вирішення двох основних завдань: залізничний транспорт має бути розвиненим і гарантувати високий рівень якості послуг, що надаються; забезпечувати його доступність для користувачів [1].

Вивчення попиту на транспортні послуги свідчить, що одним з головних вимог клієнтів до роботи транспорту є своєчасність відправки і доставки вантажів. Зв'язано це з прагненням більшості вантажовласників до скорочення запасів як у сфері виробництва, так і в сфері обертання, оскільки їх витрати на утримання запасів складають по ряду галузей 20 % і більше від вартості продукції, що випускається. Відсутність гарантії своєчасної доставки чи відправки необхідного вантажу, можливість відмовлення чи кількаразового відкладання заявки на перевезення були характерними рисами сформованої раніше системи роботи транспорту [2].

У той же час залізничний транспорт здійснював перевезення, не цікавлячись потребами клієнтів в інших послугах. Тому в транспортному ланцюзі «виробник – перевізник – споживач» малися такі недоліки:

- низький рівень взаємодії між підприємствами транспорту і споживачами їхніх послуг;
- значна роз'єднаність інтересів сторін;

- низький рівень інформаційного зв'язку між учасниками перевізного процесу;

- неможливість інформування споживача про місце перебування відправки і часу прибуття до місця призначення;

- недосконала система документообігу.

Тепер же ринок транспортної продукції і послуг, що активно формується, загострює ряд питань, головні з яких зв'язані з функціонуванням залізниць в умовах, коли кожний перевізник формує своє коло клієнтури і створює найбільш привабливі для нього можливості реалізації продукції транспорту [3]. Тому для залізниць України актуальними є питання залучення додаткових вантажопотоків і підвищення ефективності транспортного виробництва за рахунок забезпечення зростаючих вимог вантажовласників до якості й ефективності транспортного обслуговування.

Основою вирішення проблеми підвищення конкурентоспроможності залізниць є розробка і впровадження таких технологій перевізного процесу, які забезпечать сервіс перевезення вантажів з максимальними вигодами, гарантоване виконання всіх вимог вантажовласників щодо обсягу і якості всіх видів транспортних послуг при можливому мінімумі витрат залізниць на основі системного підходу.

У роботі [4] авторами розглядалися питання вибору варіанта обслуговування вантажовласників залізницями. З використанням теорії статистичних ігор вибір оптимального варіанта доцільно проводити на основі завбачливої стратегії, що забезпечує мінімальні середні збитки залізниці при її тривалому використанні.

Комплексну оцінку якості обслуговування клієнтури можна визначити рівнем ряду показників: ритмічністю перевезень, повнотою задоволення попиту, терміном доставки, транспортною доступністю, схоронністю, безпекою перевезень, комплексністю обслуговування, екологічністю перевезень, транспортною забезпеченістю.

Ця робота ще не містить досліджень у даному напрямку. Кожний з цих показників має самостійне значення. А для забезпечення повного обслуговування споживачів транспортних послуг необхідний облік усіх складових якості. Слід зазначити, що невиконання одного з показників чи зустріч із труднощами при його здійсненні, зведе до результуючого нулю рівень обслуговування, навіть при бездоганному виконанні інших умов. Це, у свою чергу, уплине на конкурентоздатність залізничного транспорту. Необхідність комплексної оцінки ще обумовлена і тим, що для різних груп вантажовласників той самий показник може мати цілком протилежну значимість, що не повною мірою розкрито в роботах [2; 3].

Останнім часом велика увага приділяється питанням сервісного обслуговування користувачів залізничного транспорту і його рівня. Спостерігається тенденція виділяти з комплексу показників якості транспортного обслуговування один чи кілька показників і проводити оцінку його впливу на конкурентоспроможність транспорту і залучення клієнтів [5]. Однак оцінка рівня обслуговування носить як кількісну, так і якісну сторони. На Донецькій залізниці структура вантажопотоку дуже широка, тобто мають місце різні групи користувачів, що ставлять ті чи інші вимоги до якості обслуговування. Однак сервісу перевезень приділяється недостатня увага.

Визначити критеріальну функцію оптимального розподілу ресурсів залізниці для забезпечення сервісу перевезень по параметрах (вагонний парк, якій визначено за технічними нормами, послуги вантажовідправникам та вантажоотримувачам).

Реалізація необхідного рівня сервісу може бути заснована на теорії складних систем [6]. Розглянута система розподілу вагонів і послуг на залізниці складається з множини об'єктів K (станції навантаження, вантажовласники).

Для забезпечення виконання необхідних умов сервісу є множина I типів ресурсів (вагонів і послуг), $I = \{1, \dots, n\}$. Позначимо множину типів вагонів, необхідну для s -об'єкта, $I_s; I_s \subset I$. Відомий ресурс i -типу для s -об'єкта (x_i^s). Множину станів i -ї складової s -го об'єкта позначимо C_s^i . Число елементів множини C_s^i дорівнює

$$\text{card} C_s^i = x_i^s + 1, \quad (1)$$

де

$$C_s^i = \{a_0^{is}, a_1^{is}, \dots, a_{x_i^s}^{is}\}$$

та номеру i відповідає задана кількість ресурса.

Далі задамо відображення $\mu_{\hat{C}_s^i}: C_s^i \rightarrow [0,1]$, що характеризує ступінь належності будь-якого стану $a_v^{is} \in C_s^i$ до нечіткої множини «гарних» станів i -ї складової s -го об'єкта

$$\hat{C}_s^i = \{ \langle a_v^{is}, \mu_{\hat{C}_s^i}(a_v^{is}) \rangle \}.$$

Для характеристики функціональної придатності об'єктів до виконання цільових задач на множині C_s^i задамо нечітку множину \tilde{C}_s^i «працездатних» станів s -го об'єкта по i -й складовій

$$\tilde{C}_s^i = \{ \langle a_v^{is}, \mu_{\tilde{C}_s^i}(a_v^{is}) \rangle \}, \quad (2)$$

де

$$\mu_{\tilde{C}_s^i}: C_s^i \rightarrow [0,1].$$

Далі можна визначити ступінь належності «кращого» стану s -го об'єкта до множини \hat{C}_s^i . Для цього нам необхідно зафіксувати тип ресурсу і по всіх станах провести порівняння ступенів приналежності гарних і працездатних множин для вибору найменшого з них з метою одержання гарантованого результату. З усіх зафіксованих мінімальних значень вибирається максимальний елемент, знайдений стан позначається. Аналогічна операція проводиться по всіх типах параметрів. Кінцеве вираження буде мати такий вигляд:

$$\mu(a^s) = \min_i \max_v \min \{ \mu_{\tilde{C}_s^i}(a_v^{is}), \mu_{\hat{C}_s^i}(a_v^{is}) \}. \quad (3)$$

У процесі виконання об'єктами свого цільового призначення в умовах виникнення додаткового впливу зовнішнього середовища відбувається незаплановане споживання ресурсів, тобто відбувається зміна стану об'єктів у бік збитку чи заповнення наявних ресурсів. Тим самим об'єкти переходять з початкового стану по кожній складовій a_v^{is} у стан a_k^{is} , $k \leq v$, $\forall i \in I \quad \forall s \in K$. Такий перехід може бути заданий нечітким відображенням

$$\lambda^{is}: \hat{C}_s^i \rightarrow \hat{C}_s^i \cdot [0,1], \quad (4)$$

де образ кожного елементу з \hat{C}_s^i – це нечітка множина.

Тому що кількість ресурсів на будь-якому об'єкті кінцева, те нечітке відображення λ^{is} може бути однозначно визначено нижньою трикутною матрицею L^{is} такого виду:

$$L^{is} = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^{is} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \lambda_{21}^{is} & \lambda_{22}^{is} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{x_i^s+1,1}^{is} & \dots & \dots & \dots & \lambda_{x_i^s+1,x_i^s+1}^{is} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де $\lambda_{vk}^{is} = \lambda^{is}(a_k^{is})$ характеризує можливість переходу s -го об'єкта по i -й складовій в стан a_k^{is} , якщо в початковий момент він був в стані a_v^{is} ; при цьому $k < v$.

Ступінь належності $\mu_{\hat{C}_s^i}(a_k^{is})$ a_k^{is} -го стану s -го об'єкта по i -й складовій до нечіткої множини кращих станів \hat{C}_s^i визначається відповідно до правил нечіткого відображення нечіткої множини $\hat{C}_s^i \rightarrow \hat{C}_s^i$ та обчислюється за формулою

$$\mu_{\hat{C}_s^i}(a_k^{is}) = \max_v \min \left\{ \mu_{\hat{C}_s^i}(a_v^{is}), \lambda^{is}(a_v^{is}, a_k^{is}) \right\}. \quad (6)$$

Далі введемо позначення кількості ресурсу i -го типу в f -й підсистемі l -го рівня δ_i^{lf} . Введемо умовну нечітку множину кращих станів i -ї складової s -го об'єкта при сумарному ресурсі в системі

$$\bar{C}_s^i = \left\{ \langle a_v^{is}, \mu_{\bar{C}_s^i}(a_v^{is} | \delta_i) \rangle \right\}, \quad (7)$$

де

$$\mu_{\bar{C}_s^i}: C_s^i \cdot \delta_i \rightarrow [1].$$

Дана умовність викликається невизначеністю попиту ресурсу на інших об'єктах i , отже, нечіткістю в забезпеченні s -го об'єкта додатковим ресурсом.

Аналогічно (3) ступінь належності кращого стану s -го об'єкта при кількості ресурсу в системі резервування δ_i дорівнює

$$\mu(a^s | \delta_i) = \min_i \max_v \min \times \left\{ \mu_{\bar{C}_s^i}(a_v^{is}), \mu_{C_s^{-i}}(a_v^{is} | \delta_i) \right\}. \quad (8)$$

Нечітка множина кращих станів усієї системи об'єктів, що резервується при сумарному ресурсі δ_i можна визначити в такий спосіб

$$C = \times_{i=1}^n \times_{s=1}^k C_s^{-i}, \quad (9)$$

де k – загальне число об'єктів.

Ступінь належності

$$\mu(a | \delta) = \min_s \min_i \max_v \min \times \left\{ \mu_{\bar{C}_s^i}(a_v^{is}), \mu_{C_s^{-i}}(a_v^{is} | \delta_i) \right\}, \quad (10)$$

можна інтерпретувати як ступінь належності кращого стану системи об'єктів у цілому і використовувати як характеристики її функціональної придатності. Задаючи необхідний рівень

$$\mu(a | \delta) \geq \mu^+, \quad (11)$$

де μ^+ – задане значення, $\mu^+ \in [0,1]$, можна регулювати процес заповнення системи резервування ресурсами.

Уведемо множину $R_i^s = \{0,1,\dots,x_i^s\}$, елементи якої дорівнюють можливому попиту ресурсів i -го типу s -м об'єктом, $\forall i \in I_s, \forall s \in K$. На множині R_i^s задамо нечітку множину «доступного» ресурсу для i -ї складової s -го об'єкта при кількості ресурсу в системі резервування δ_i

$$\hat{R}_i^s(\delta_i) = \left\{ \langle v, \mu_i^{rs}(v | \delta_i) \rangle \right\}, \quad v = 0, \dots, x_i^s, \quad (12)$$

де

$$\mu_i^{rs}: R_i^s \cdot \delta_i \rightarrow [0,1].$$

Значеннями ступеня належності множини доступного ресурсу і множини гарних станів s -го об'єкта однозначно визначаються ступені приналежності умовної нечіткої множини його гарних станів

$$\left. \begin{aligned} \mu_{C_i^{-s}}(a_v^{is} | \delta_i) &= 1 - \bigwedge_{j=1}^v \\ \left\langle \left[1 - \mu_{C_i^{-s}}(a_{x_i^s-v+j}^{is}) \right] \wedge \left\{ \bigwedge_{\varphi=1}^{x_i^s} \left[1 - \mu_i^{rs}(\varphi | \delta_i) \right] \right\} \right\rangle \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

На кожній множині ресурсів i -ї категорії f -ї підсистеми l -го рівня задамо нечітку множину ресурсів, «передбачуваних до залучення» з резерву δ_i

$$Y_i^{lf}(\delta_i) = \left\{ \langle y_i^{lf}, \mu_i^{lf}(y_i^{lf} | \delta_i) \rangle \right\}, \quad (14)$$

де

$$\mu_i^{lf}: \left\{ 0, 1, \dots, \sum_{j \in \mathcal{X}^{lf}} x_j^s - \varepsilon_i^{lf} \right\} \delta_i \rightarrow [0,1].$$

Через $\hat{\Omega}_{y_i^{lf}}(\delta_i)$ можна позначити нечітку множини «можливих» комбінацій залучення y_i^{lf} ресурсу i -ї категорії з резерву δ_i^{lf}

$$\hat{\Omega}_{y_i^{lf}}(\delta_i) = \left\{ \langle \omega y_i^{lf}, \hat{\mu}_i^{lf} \left(\omega y_i^{lf} \mid \delta_i \right) \rangle \right\}, \quad (15)$$

де

$$\omega y_i^{lf} \in \Omega y_i^{lf}, \hat{\mu}_i^{lf} : \Omega y_i^{lf} \cdot \delta_i \rightarrow [0, 1].$$

Значеннями ступеня належності $\mu_{\hat{C}_s^{is}}(a_v^{is})$ однозначно можна визначити ступінь належності множини ресурсів, передбачуваних до залучення, і множини можливих комбінацій залучення ресурсу.

Нечітка множина $Y_i^{lf}(\delta_i)$ описує потреби в додатковому ресурсі f -ї підсистемі l -го рівня в умовах попиту ресурсів множиною об'єктів χ^{lf} .

Отже, елемент із $Y_i^{lf}(\delta_i)$ з максимальним ступенем належності припустимо інтерпретувати як найбільш очікуване споживання ресурсу i -го типу. Однак максимальний ступінь належності може відповідати декільком значенням y_i^{lf} . Виходячи з ідеї гарантованого задоволення попиту, можна вибрати максимальне значення y_i^{lf} , у результаті чого одержимо такий результат:

$$\langle y_i^{*lf}, \mu_i^{*lf} \left(y_i^{*lf} \mid \delta_i \right) \rangle = \max_{y_i^{lf}} \max_{\mu_i^{lf}} Y_i^{lf}(\delta_i). \quad (16)$$

Нечітка множина $\hat{\Omega}_{y_i^{*lf}}$ містить у собі припустимі комбінації розподілу y_i^{*lf} ресурсу по множині об'єктів χ^{lf} . Якщо вибрати комбінацію з максимальною функцією належності, то надалі можна розподілити ресурси в системі таким чином, щоб витрати на їхню доставку до пунктів призначення були мінімальними, тобто елемент

$$\langle \omega_i^{*lf}, \hat{\mu}_i^{*lf} \left(\omega_i^{*lf} \mid \delta_i \right) \rangle = \max_{\mu_i^{lf}} \hat{\Omega}_{y_i^{*lf}}(\delta_i), \quad (17)$$

відповідний найбільш достовірному розподілу ресурсів по об'єктах.

Визначимо критеріальну функцію

$$\Phi \left(\mu_{\hat{C}_s^{is}}, \mu_{\hat{C}_s^{is}}, d_i^{lf}, d_{is}^{lf}, \delta_i^{lf} \right) = \sum_{l=1}^t \sum_{f=1}^{m_l} \sum_{i=1}^n \left[d_i^{lf} \left(\delta_i^{lf} - y_i^{*lf} \right) + \sum_{s \in \chi^{lf}} y_{is}^{*lf} d_{is}^{lf} \right], \quad (18)$$

де

$$\sum_{s \in \chi^{lf}} y_{is}^{*lf} d_{is}^{lf} = \omega y_i^{*lf}$$

характеризує витрати на утримування надлишків у системі резервування і витрати на доставку ресурсів до пунктів призначення при нечіткому стані об'єктів.

Тепер є всі необхідні дані, щоб сформулювати задачу обґрунтування оптимального розподілу вагонів. Визначимо мінімум критеріальної функції

$$\min_{\{ \delta_i^{lf} \}} \Phi \left(\mu_{\hat{C}_s^{is}}, \mu_{\hat{C}_s^{is}}, d_i^{lf}, d_{is}^{lf}, \delta_i^{lf} \right). \quad (19)$$

Вказану вище модель рекомендується застосовувати у взаємодіючих автоматизованих робочих місцях (АРМ) диспетчера-вагонорозподільника служби перевезень залізниці та поїзних диспетчерів вузлів і дільниць. При цьому доцільно враховувати комплексну оцінку якості обслуговування клієнтури.

Висновки

В існуючих методах та моделях організації перевезень ще недостатньо врахована комплексна оцінка якості обслуговування клієнтури та сервісу. Для реалізації потрібного рівня сервісу доцільно використати модель нечітких множин теорії складних систем за ознаками об'єктів (станцій) та ресурсів (вагонів за їх типом), на основі якої можливо знайти мінімум критеріальної функції.

На перспективу запропоновану модель слід використовувати у взаємодіючих АРМ вищевказаних оперативних працівників. Подальший розвиток у даному напрямку потребує переходу до моделі вантажовласників та послуг, які надає залізниця у своїй інфраструктурі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція та Програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
2. Миротин Транспортная логистика / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2001
3. Терешина Н. П. Взаимодействие с пользователями транспортных услуг / Н. П. Терешина, О. А. Кузнецова // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 8. – С. 69–71.
4. Кулешов В. М. Сучасні технології обслуговування вантажовласників на залізниці / В. М. Кулешов, Ю. В. Доценко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, – Харків, – 2003. – Вип. 53. – С. 82–85.
5. Соколов Ю. И. Ритмичность перевозок как показатель качества транспортного обслуживания // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 5. – С. 68–69.
6. Дмитриев А. К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А. К. Дмитриев, П. А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 192 с.

Надійшла до редколегії 26.10.2005.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Розглянуто питання можливості створення на залізничному транспорті адекватних систем підтримки прийняття рішень, в основу яких покладені основні принципи теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

Рассмотрены вопросы возможности создания на железнодорожном транспорте адекватных систем поддержки принятия решений, в основу которых положены основные принципы теории нечетких множеств и нечеткой логики.

The article examines possibilities of creation on the railway transport of the adequate decision-making support system on the basis of the fundamentals of the fuzzy sets and fuzzy logic theories.

На цей час на залізничному транспорті існує обмежена кількість систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом стосовно процесів, що відбуваються як в масштабах всієї Укрзалізниці, так і в межах окремих її структурних підрозділів. Цей факт негативно впливає на кількісні і якісні показники роботи залізниць в силу обмеженості сфер застосування систем прийняття рішення. Згідно з концепцією реструктуризації та програмою інформатизації залізничного транспорту необхідним є подальше удосконалення і провадження таких систем.

У роботі [1] розглянута можливість надання оперативному персоналу залізничної станції можливості прогнозування подій на основі аналізу минулого періоду, у роботі [2] розглядається можливість ідентифікації вхідних ситуацій транспортних подій на станціях певної ділянки, в основу якої покладені лінгвістичні змінні. У зазначеній роботі ідентифікація вхідних ситуацій відбувається методом нечіткого включення, який передбачає побудову зваженого графу типових ситуацій, покладеного в основу діаграми Хассе. Такий підхід не повною мірою відображає задовольняння потреби у разі побудови системи підтримки прийняття рішення і являє собою перший крок до побудови повнофункціональної системи.

У роботі відтворено ще один етап побудови систем підтримки прийняття рішення, в основу якого покладені останні досягнення в галузі нечітких множин та нечіткої логіки.

Стандартна нечітка модель управління включає в себе три основних блоки системи управління: блок оцінки стану, блок прийняття рішення, блок надання керуючих впливів.

В основу функціонування блока прийняття рішення нечіткої моделі управління «ситуація-

дія» покладено принцип визначення по системі продукцій необхідних при даній вхідній ситуації керуючих рішень. Продукційна система ставить у відповідність кожній ситуації \tilde{S}_i з певного набору ситуацій S_S , що характеризує всі можливі стани об'єкту управління, деякі керуючі рішення R_i . Ситуації, які входять до набору S_S називають еталонними. На відміну від набору $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$ типових ситуацій, набір $S_S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_n\}$ ($n \leq N$) еталонних ситуацій не містить нечітко рівних за заданим порогом рівності ситуацій. Цей факт сприяє зменшенню розмірності продукційної системи і не знижує ефективність моделі.

Керуюче рішення, яке необхідно приймати при вхідній ситуації \tilde{s}_0 , визначається ситуацією $\tilde{s}_i \in S_S$, в розумінні найбільш близької ситуації \tilde{s}_0 причому множина S_S повно і ситуація \tilde{s}_i існує для будь-якої вхідної ситуації \tilde{s}_0 . Міри близькості ситуації \tilde{s}_0 з еталонними ситуаціями визначають за методом нечіткого включення ситуацій (1), нечіткої рівності ситуацій (3) і нечіткої узагальненості ситуацій (4) [3]

$$v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y} v(\mu_{s_i}(y), \mu_{s_j}(y)), \quad (1)$$

де деякими ситуаціями є

$$\tilde{s}_i = \left\{ \left\langle \mu_{s_i}(y) / y \right\rangle \right\}, \quad \tilde{s}_j = \left\{ \left\langle \mu_{s_j}(y) / y \right\rangle \right\} \quad (y \in Y).$$

Величина $v(\mu_{s_i}(y), \mu_{s_j}(y))$ визначається за формулою (2) і являє собою ступінь включення нечіткої множини $\mu_{s_i}(y)$ в нечітку множину $\mu_{s_j}(y)$.

$$v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y} v[\mu_{s_i}(y) \rightarrow \mu_{s_j}(y)] \quad (2)$$

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \& v(\tilde{s}_j, \tilde{s}_i) \quad (3)$$

$$k_{p-q}(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y \setminus Y_q} \mu[\mu_{s_i}(y), \mu_{s_j}(y)], \quad (4)$$

де $k_{p-q}(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$ – ступінь $(p-q)$ -спільності. Причому $(p-q)$ -спільністю зветься така схожість ситуацій, за якою нечіткі значення всіх ознак у ситуаціях нечітко рівні, окрім нечітких значень не більш, ніж q ознак.

Розглянемо особливість функціонування нечіткої моделі управління у разі різних мір близькості.

Поставимо умову, щоб в моделі нечіткого управління залізничними транспортними подіями множина еталонних ситуацій S_S в силу того, що вона будується заздалегідь, перед початком функціонування системи управління, не містила погано визначених ситуацій, незалежно від того, яким чином S_S буде використовуватися. У цьому випадку можливі такі варіанти:

1. На вхід нечіткої моделі управління надходять тільки добре визначені відносно порога рівності ситуації \tilde{s}_0 . У цьому випадку відношення нечіткої рівності на множині

$$S_1 = S_S \cup S_0, \quad (5)$$

де S_0 – множина вхідних ситуацій транспортних подій на залізничній станції або в межах всієї Укрзалізниці, є відношення нечіткої еквівалентності.

Множина S_S не містить нечітко рівних ситуацій, тому кількість класів еквівалентності нечіткої розбивки множини S_1 співпадає з кількістю еталонних ситуацій. Кожна еталонна ситуація $\tilde{s}_l \in S_S$ є представником класу еквівалентності \tilde{A}_l , відповідного цій ситуації. Класу \tilde{A}_l окрім \tilde{s}_l належать всі нечітко рівні \tilde{s}_l вхідні ситуації з множини S_0 . Отже, кожна вхідна ситуація стосовно транспортних подій \tilde{s}_0 нечітко рівна тільки одній еталонній ситуації $\tilde{s}_l \in S_S$, яка визначається послідовним зрівнянням \tilde{s}_0 з кожною ситуацією $\tilde{s}_l \in S_S$ ($l \in I = \{1, 2, \dots, n\}$). Ситуація \tilde{s}_l така, що $\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l) \geq t$ приймається рівною ситуації \tilde{s}_l [3].

2. На вхід нечіткої моделі управління можуть надходити погано визначені ситуації опе-

ративних або прогнозних транспортних подій \tilde{s}_0 . У цьому випадку відношення нечіткої рівності на множині S_1 є відношення нечіткої толерантності. Число класів сполученого з ним нечіткого покриття, як і в першому випадку дорівнює n , кожна ситуація $\tilde{s}_l \in S_S$ відповідає класу \tilde{A}_l покриття множини S_1 . Однак класи покриття можуть мати нечітко порожні перехрещення, які складаються з погано визначених вхідних ситуацій множини S_0 . Даний факт свідчить про те, що погано визначена вхідна ситуація \tilde{s}_0 може дорівнювати декільком еталонним ситуаціям. У даному випадку можливі два варіанти рішення:

– точніше визначити вхідну ситуацію, а саме, уточнити погано визначені ознаки. Тим самим перейти до першого варіанта;

– визначити підмножину S_S^0 еталонних ситуацій, нечітко рівних \tilde{s}_0 . Прийняти найбільш близькою \tilde{s}_0 ситуацію \tilde{s}_i , яка має максимальний степінь рівності з \tilde{s}_0 , тобто

$$\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) = \max_{\tilde{s}_i \in S_S^0} \mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i), \quad (6)$$

якщо таких ситуацій декілька, то рішення стосовно транспортної події приймається залежно від умов управління.

У роботі [4] показано, що відношення нечіткого включення $\tilde{\delta} = (S_1, \tilde{F})$ при добрій визначеності ситуацій з множини S_1 є на цієї множині відношенням нечіткого нестрогого порядку цей факт дозволяє організувати ієрархію ситуацій множина S_1 , розташувавши на верхньому рівні нечітко максимальний елемент максимальної ідеальної підмножини, сполучених з відношенням $\tilde{\delta}$. Таким чином, ситуація \tilde{s}_1 має найвищий стан у діаграмі Хассе

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 = \{ \langle \langle 1/\text{поїзд} \rangle, \langle 0/\text{група вагонів} \rangle / \\ / \langle \langle \text{Повноост} \rangle \rangle \langle \langle 1/\text{поїзд} \rangle, \\ \langle 0/\text{група вагонів} \rangle / \langle \langle \text{Повноваг} \rangle \rangle \\ \langle \langle 0/\text{вчасно} \rangle, \langle 1/\text{прострочено} \rangle / \\ / \langle \langle \text{Термін доставки} \rangle \rangle \} . \end{aligned}$$

З припущення повноти множини S_S виходить, що на верхньому рівні ієрархії знаходяться ситуації з множини S_S . Нижче по рівнях

ієрархії розташовуються елементи максимальних ідеальних підмножин, які містять елементи верхнього рівня відповідної підмножини. Розглядаючи сукупність підмножин будується з ситуацій множин S_S і S_0 , причому «місце» кожної ситуації $\tilde{s}_0 \in S_0$ визначається такою процедурою: \tilde{s}_0 «нижче» кожної ситуації $\tilde{s}_i \in S_S$ такої, що $\tilde{s}_0 \subsetneq \tilde{s}_i$ і «вище» кожної ситуації $\tilde{s}_j \in S_S$ якщо $\tilde{s}_j \subsetneq \tilde{s}_0$.

Одержавши інструмент ідентифікації вхідних ситуацій одержана можливість до безпосереднього переходу до ідентифікації станів об'єкта управління. У форматі даного питання розглянемо організацію і функціонування блоку оцінювання станів об'єкта управління. У даній роботі блок системи управління призначений для ідентифікації оперативної транспортної ситуації на залізничній станції, якою відбивається сформований к моменту оцінювання стан об'єкта. Функціонування блоку оцінювання ситуації базується на моделюванні дій людини, яка приймає рішення (ЛПР) (черговий по станції, товарний касир, поїзний диспетчер, черговий по дирекції залізничних перевезень...), для чого використовується отримана від ЛПР інформація. Тому вказаний блок включиться до моделі управління, яка імітує поведінку ЛПР під час управління об'єктом.

Припустимо, що та інформація, як подається на вхід блока оцінювання стану може бути трьох типів: нечітка, чітка і нечітко множинна. Тип інформації визначається типом датчиків системи управління. Умовно виділимо три основних типи датчиків:

- «нечіткі датчики» (черговий по станції, поїзний диспетчер тощо, які подають на вхід блока оцінки стану словесну інформацію про стан об'єкта управління);

- «чіткі датчики» (деякі датчики, які подають на вхід блока оцінювання стану конкретну числову інформацію, наприклад, ЕОМ надає данні про вагу поїзда, кількість вагонів в складі поїзда...);

- «аналогові датчики» (датчики, які подають на вхід блока оцінювання стану безперервні функції належності, які перетворюються в вектори ступенів належності [2]).

Розглянемо задачу ідентифікації станів об'єкта управління (формування поїзда) в умовах «нечітких датчиків». Припустимо, що поїзний диспетчер для відображення станів об'єкта управління користується тими ж ознаками, нечіткими значеннями яких описані значення ознак в останніх [2]. Фактично на вхід блока

оцінювання станів подається нечітка вхідна ситуація \tilde{s}_0 , можливо, неповністю визначена, з приводу того, що поїзний диспетчер за різними причинами може не вказувати ступеня належності деяких термів нечіткими значеннями відповідних ознак. Ступені належності термів можуть задаватися поїзним диспетчером або безпосередньо, числами з відрізка $[0, 1]$, або за допомогою слів, які відображають ступень відповідності термів параметрам стана формування поїзда.

Генерація відповідних дій, які видаються на виконавчі механізми системи управління, покладено на блок надання керуючих дій (БНКД). Функціонування БНКД базується на моделюванні дій ЛПР. Тому БНКД, також як і блок оцінювання станів, включається в модель управління, яка імітує поведінку ЛПР під час управління об'єктом (формування поїзда). Необхідна для роботи блока інформація одержується опитуванням експертів, приклади стосовно цього питання розглянуті в роботі [2].

Впровадження систем підтримки прийняття рішення на залізничному транспорті покликани в першу чергу полегшити роботу працівників пов'язаних з необхідністю аналізу великого масиву оперативних даних шляхом широкомасштабної автоматизації, яка дозволить враховувати чинники, впливаючі на перевізний процес. Функціонування таких систем створює платформу для покращення основних показників роботи, таких як: оборот вагона, простої вагонів під накопиченням, простої вагонів під однією вантажною операцією...

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бутько Т. В. Планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій 2004. – Спецвипуск 7 [1]. – С. 16–19.
2. Бутько Т. В. Модель поїздоутворення на основі ситуаційної системи прийняття рішення / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій 2004. – 3 [9]. – С. 30–33.
3. Мелехов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелехов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит. 1990.
4. Данько М. І. Прогнозування розподілу вагонопотоків на основі теорії нечітких множин / М. І. Данько, О. В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2004. – Вип. 2. – С. 80–83.

Надійшла до редколегії 27.09.2005.

В. И. МОЙСЕЕНКО, В. В. РАДЧЕНКО (УкрГАЖТ)

МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЕЗДНОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Розглянуто питання моделювання поїзної ситуації на станції. Була побудована математична модель роботи пристроїв залізничної автоматики та поїзних пересувань. Описано спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє спростити та прискорити процес налагодження систем у різноманітних режимах.

Рассмотрены вопросы моделирования поездной ситуации на станции. Была создана математическая модель работы устройств железнодорожной автоматики и поездных передвижений. Описано специальное программное обеспечение, позволившее упростить и ускорить процесс отладки систем в различных режимах.

The article considers the issues of modelling train situations at stations and develops a mathematical model of operation of railway automatics devices and movements of trains. The special software has been described, which allows essentially to simplify and speed up the process of systems arrangement in different modes.

Стремительное развитие вычислительной техники позволило создавать программно-аппаратные комплексы способные реализовывать любые технологические процессы. На данном этапе железная дорога остается одним из самых привлекательных объектов автоматизации. Технологические процессы довольно сложны и человек уже не справляется с таким большим количеством информации. Кроме того, установленные системы устарели и требуют замены. Дальнейшее развитие функций этих систем не возможно, поскольку элементная база устарела [1; 2].

Новым витком в развитии железнодорожной автоматики стало активное внедрение передовых электронно-вычислительных систем, позволяющих реализовать технологические процессы любой сложности.

Как правило, технологический процесс работы станции довольно сложен и имеет большое количество составляющих. По этой причине разработка систем становится очень трудоемкой. Приходится учитывать большое количество нюансов связанных с особенностью функционирования реального объекта.

Известны работы ряда авторов [9], в которых моделирование технологического процесса ведется под действующие объекты, такой подход практически полностью исключает возможность отладки разрабатываемой системы на объекте, что приводит к существенному увеличению продолжительности пуско-наладочных работ. Это связано с тем, что постоянно по-

ступающий поток информации мешает проследить реакцию системы. В отдельных случаях имеют место ситуации, при которых возникает нехватка, либо полное отсутствие необходимой информации.

Целью статьи является создание унифицированной модели объекта управления и контроля, которая бы обеспечивала возможность отладки. Сложность обычного моделирования определяется многозадачностью технологического процесса, который реализует система управления движением поездов.

При создании единого комплекса технических средств станции Новая Бавария разработчики столкнулись с проблемой отладки программного обеспечения (ПО) системы. Комплекс, включал в себя систему управления движением поездов, систему автоматического оповещения и автоматизированное рабочее место электромеханика.

Некоторая информация была необходима для всех трех систем, некоторая обрабатывалась только одной из них. К примеру, контроль о состоянии путевого развития необходим всем системам, а информация о напряжениях на питающем и релейном концах рельсовых цепей и лучевых реле необходима только для рабочего места электромеханика. Управляющие воздействия формировались только рабочим местом дежурного по станции.

Нижний уровень системы образован контроллерами, получающими информацию от объектов, и главными контроллерами, играющими роль серверов системы. Верхний уровень

образовывают автоматизированные рабочие места персонала станции. Разработка и отладка систем шла параллельно. В случае ошибочной работы системы приходилось выяснять достоверность входных данных, что затрудняло процесс поиска ошибок.

Для реализации программных задач верхнего уровня создавалось специальное программное обеспечение, которое позволило моделировать информацию, поступающую от главных контроллеров, и реагировать на команды управления, передаваемые нижнему уровню системы [3]. Такой подход позволил отделить процесс отладки верхнего уровня от подсистем нижнего уровня.

Разработка модели станции разбивалась на три этапа. На первом этапе происходило обучение модели передаче основных информационных посылок.

В специальном файле настроек были описаны коды команд для каждого объекта контроля. Это сделало модель довольно гибкой, так как добавление новых информационных сообщений сводилось к текстовому описанию команды и ее шестнадцатиричного кода. Ниже приведен фрагмент команд, описывающих работу рельсовой цепи

```
<TCCommand value="0000000F" name="СП
под ток" shortname="SP_UP" />
<TCCommand value="FFFFFFF0" name="СП
без тока" shortname="SP_Down" />
<TCCommand value="000000F0" name="З
без тока" shortname="Z_UP" />
<TCCommand value="FFFFFFF0F" name="З
под ток" shortname="Z_Down" />
<TCCommand value="000000FF" name="РИ
под ток" shortname="RI_UP" />
<TCCommand value="FFFFFFF00" name="РИ
без тока" shortname="RI_Down" />
```

Кроме основных сообщений для всех объектов определенного типа была возможность добавления персональных команд. В качестве примера ниже представлено описание команды для рельсовой цепи НПП.

```
<TrackCircuit name="НПП" id="1099">
<Param begin="17" objs="17" type="real"
side="odd" />
<Command value="0000FFFF" name="NNP
Command" />
</TrackCircuit>
```

Формирование списка основных команд осуществлялось на основании синтезированных графов переходов. Для примера на рис. 1 представлен граф переходов рельсовой цепи.

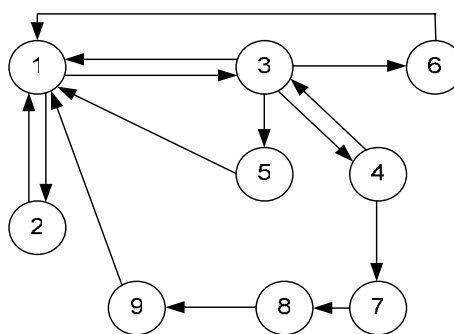


Рис. 1. Граф переходов рельсовой цепи:

- 1 – рельсовая цепь свободна, не замкнута, не размыкается;
- 2 – рельсовая цепь занята, не замкнута, не размыкается;
- 3 – рельсовая цепь свободна и замкнута в маршруте;
- 4 – занятие рельсовой цепи замкнутой в маршруте;
- 5 – отмена маршрута; 6 – искусственное размыкание при свободной рельсовой цепи; 7 – искусственное размыкание при занятой рельсовой цепи; 8 – отказ в работе рельсовой цепи; 9 – ремонт

В процессе анализа сформированы все возможные переходы из одного состояния в другое и выявлены все причины этих переходов. В последствии графы реализовывались в программном обеспечении модели [4–6]. Для примера ниже представлен код реализации данного графа на языке C++ [7; 8]

```
void SwitchSect::StateAdapt()
{
    ushort state;
    state = NO_DEFINED;
    if( _Coils[0] == SP_UP )
        state = SECT_FREE;
    else if( _Coils[0] == SP_DOWN )
        state = SECT_BUSY;
    if( _Coils[1] == Z_DOWN )
    {
        if( state == SECT_FREE )
            state = SECT_ROUTE;
        else if( state == SECT_BUSY )
            state = SECT_BROUTE;
    }
    if( _Coils[2] == RI_UP )
    {
        if( state == SECT_FREE ||
state == SECT_ROUTE )
            state = SECT_UCFREE;
        else if( state == SECT_BUSY || state
== SECT_BROUTE )
            state = SECT_UCBUSY;
    }
    SetState(state);
}
}
```

Данное ПО включало в себя сервер системы и позволяло подключать все рабочие места одновременно (рис. 2). Подключившееся рабочее место получало информацию о состоянии путе-

вого развития на момент подключения. Сервер позволял не только передавать сообщения рабочим местам, но и обмен сообщениями. Одно рабочее место могло передавать информацию

другому. К примеру, автоматическая система оповещения передавала рабочему месту дежурного по станции информацию об установке и отмене фронта работ и т. д.

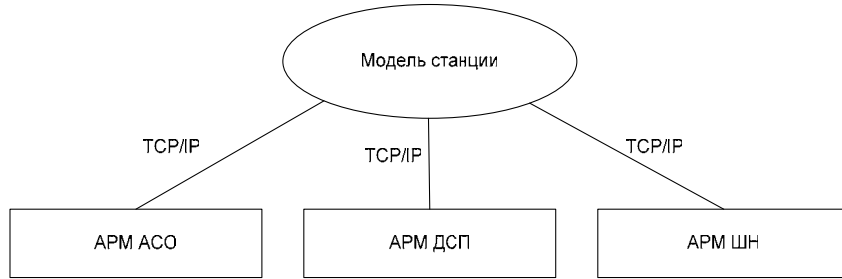


Рис. 2. Структура подключений АРМ к модели станции

Для передачи команды в основном окне выбирался объект и указывалось необходимое сообщение. При этом предусматривалась возможность указания задержки передачи выбранной команды. За счет этого обеспечивается передача необходимых последовательностей сообщений, состоящих из нескольких команд, посылаемых через определенные промежутки времени.

системе организовать обмен сообщениями без потери очередности, а также производить повторы посылок до их получения. В модели квитанции использовались для отображения информации на станции. Такой принцип обеспечивал наглядность получения команд при передаче в процессе отладки.

Передача каждой команды от АРМ серверу системы и в обратном направлении завершалась квитированием (рис. 3). Это позволяло

Основное окно модели представляет собой поле, содержащее путевое развитие станции и световую индикацию табло (рис. 4). Любой из элементов путевого развития можно активизировать нажатием кнопки манипулятора «мышь».

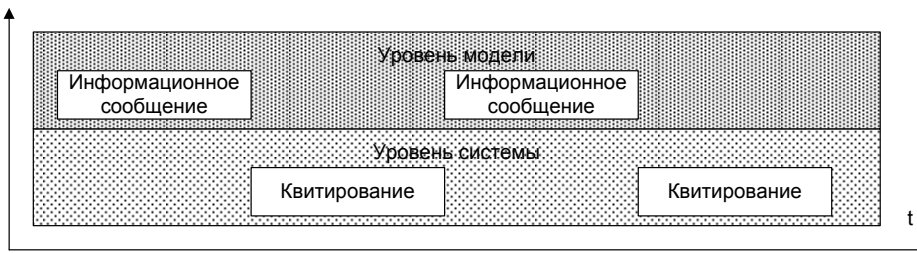


Рис. 3. Диаграмма передачи информационных сообщений

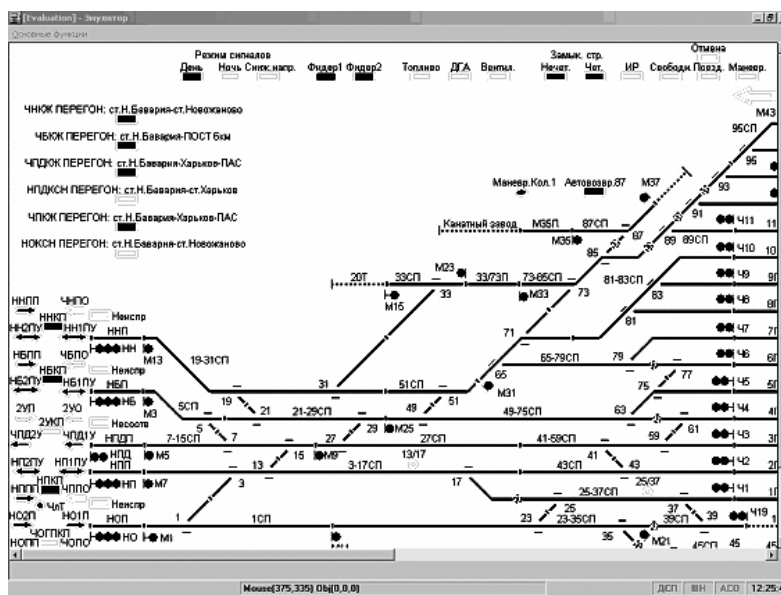


Рис. 4. Основной вид приложения

Передача основных информационных сообщений позволяет отладить функции по обработке входящей информации и ее представлении. Подавая необходимые последовательности, в нужный момент можно проследить реакцию системы. При этом вопрос о достоверности информации уже не стоит. Оператор сам решает, какие именно команды надо передать системе. Облегчается процесс внесения неисправности в

работу системы путем формирования заведомо ложного сообщения. На рис. 5 представлен фрагмент видеogramмы станции с установленным маршрутом отправления.

На рис. 6 изображено окно с командами по одному из объектов. У каждого элемента путевого развития свой перечень команд. Данный режим передачи сообщений назван ручным или пошаговым.

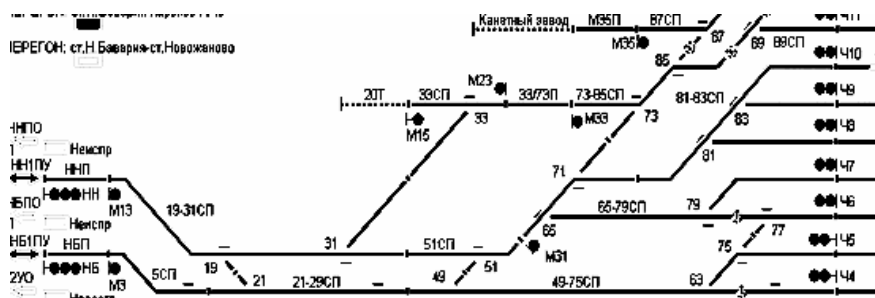


Рис. 5. Маршрут отправления

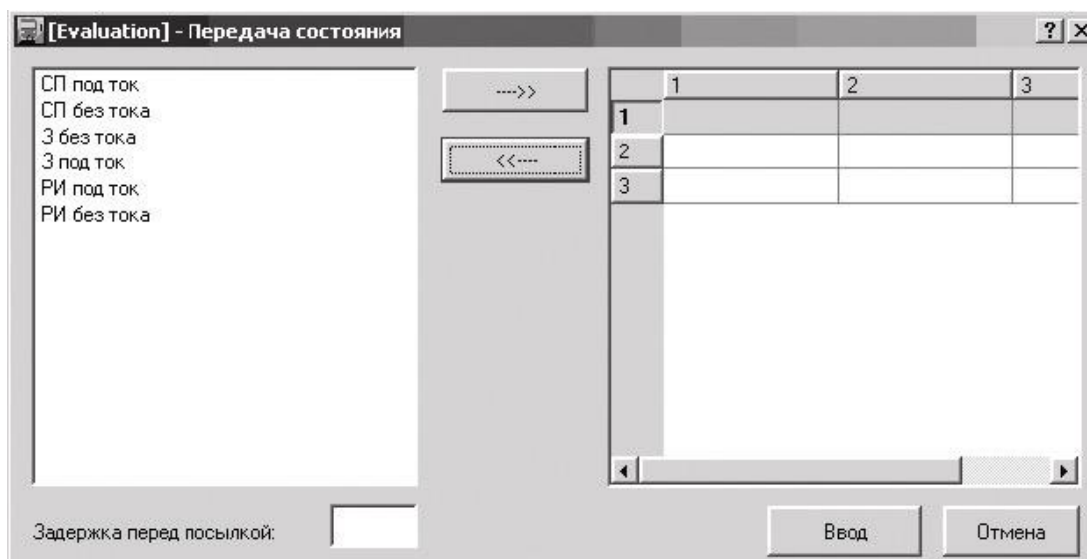


Рис. 6. Список команд для рельсовой цепи

На втором этапе ставилась задача по обучению модели реагировать на основные управляющие команды. При установке маршрута приходилось производить очень много манипуляций. В связи с этим производилось обучение модели самостоятельно реагировать на управляющие воздействия. Так, к недостатку ручного режима относится достаточно большое число операций, выполняемых в процессе установки маршрута.

При получении команды на перевод стрелки устанавливалось под ток соответствующее управляющее реле. После чего обесточивалось одно контрольное реле, находящееся до этого под током, и затем формировалась команда на возбуждение другого контрольного реле.

После этого были сформированы реакции модели на формирование сложных команд, таких как установка маршрутов. При этом передавались информационные сообщения о переводе стрелок, замыкании секций и открытии светофора. Это существенно сократило время на установку маршрута. Данный режим можно отнести к автоматическому.

Модель позволила формировать сообщения с произвольными временными интервалами между посылками. Что позволило проверить работу подпрограмм, связанных с измерением временных характеристик компонентов системы. К примеру, время перевода стрелки, измерение замедления сигнального реле светофора или выдержку времени при отмене маршрута.

После отладки основных функций систем при помощи модели можно было подключать их к реально действующему объекту.

Испытания на реальном объекте выявили, что не все части программ были отлажены. В определенных ситуациях система выдавала ложную информацию. Отладить работу можно было, только передавая команды, приводящие к сбоям.

Каждая из систем вела свой «черный ящик». Вся поступающая информация записывалась в

отдельный файл на диске. На основе этого создан третий режим – режим «черного ящика». При обнаружении ошибочной работы системы достаточно было запомнить время, когда система неправильно отреагировала. После этого «черный ящик» открывался моделью, и все команды последовательно передавались системе. Таким образом, можно было определить команду и ситуацию, когда система начинала работать некорректно. Окно «черного ящика» представлено на рис. 7.

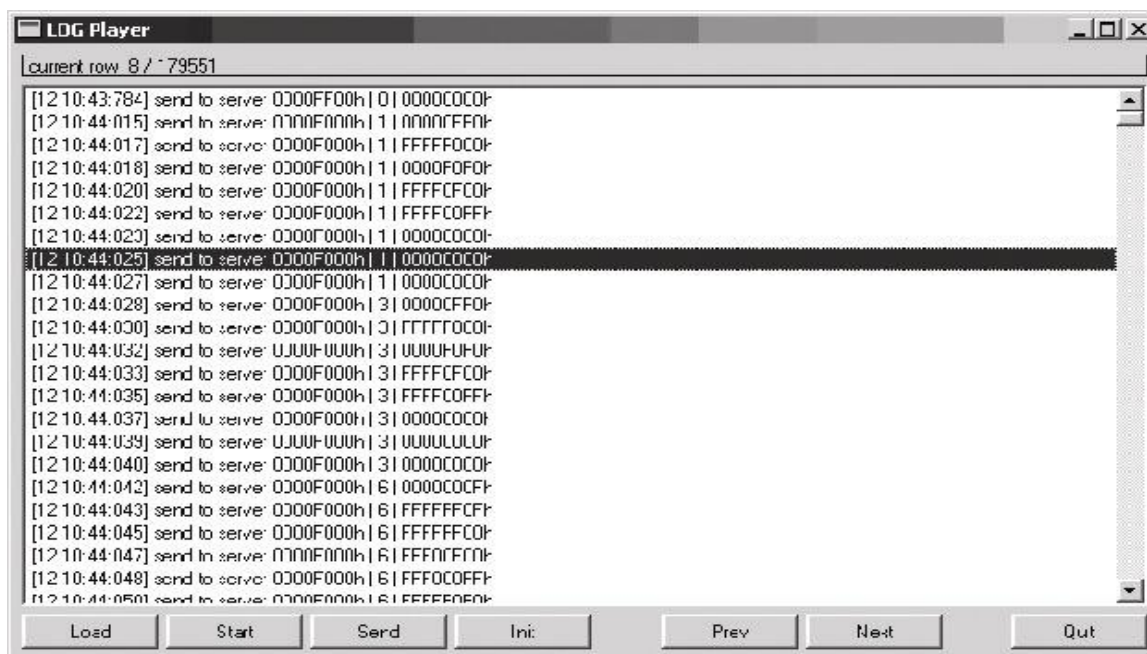


Рис. 7. Проигрыватель черного ящика

Созданная модель позволила облегчить процесс отладки программных и аппаратных средств и существенно сократить время на разработку системы в целом.

Авторами разработана модель, описывающая основные технологические процессы крупных железнодорожных станций. На основе синтезированных графов были получены модели поведения объектов управления и контроля.

Предложенный подход позволяет существенно сократить период отладки и ввода в эксплуатацию автоматизированных систем управления движением поездов. Это позволило выполнить пуско-наладочные работы, не нарушая технологического процесса работы станции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962
2. Сапожников В. В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и

- связи / В. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, В. В. Сапожников. – М.: Транспорт, 1988.
3. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
4. Амосов Н. М. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы / Н. М. Амосов, Т. Н. Байдык, А. Д. Гольцев. – К.: Наук. дум., 1994 – 272 с.
5. Борисов А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьева и др.
6. Hecht – Nielsen R/ Neurocomputing: picking the human brain. // IEEE SPECTRUM 1998 – V.25.N3 – p. 36–41.
7. Krten, Rob, 1965 – Getting started with QNX Neutrino 2 – a guide for realtime programmers.
8. Bjarne Stroustrup AT&T Labs Murray Hill, New Jersey, The C++ programming language.
9. Чепцов М. Н. Динамическая поездная модель района диспетчерского управления. Дис... канд. техн. наук. – Харьков, 2001.

Поступила в редколлегию 12.10.2005.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ШАРУВАТИМИ ПОКРИТТЯМИ

Для підтримки існуючого рухомого складу в задовільному робочому стані необхідно виконувати якісний ремонт. Одним із напрямків розвитку ремонтного виробництва є розробка нових технологій відновлення зношених деталей. У статті наведена розроблена технологія нанесення шаруватих покриттів програмним електролітичним залізненням.

Для поддержания существующего подвижного состава в рабочем состоянии необходимо выполнять качественный ремонт. Одним из направлений развития ремонтного производства является разработка новых технологий восстановления изношенных деталей. В статье представлена разработанная технология нанесения слоистых покрытий программным электролитическим железнением.

For maintenance of the existing rolling-stock in working order it is necessary to carry out quality repairs. One of directions of development of repair manufacture is the development of new technologies of restoration of the worn out details. The article represents a newly-designed technology of applying layered coverings by programmed electrolytic iron plating.

Залізничний транспорт на Україні має великі темпи розвитку і є однією з провідних галузей. Про те свідчить відкриття та планування нових швидкісних ліній, застосування сучасних технологій при проектуванні та виробництві вітчизняного рухомого складу, удосконалення колійного господарства та систем автоматики і таке інше. Тобто головними задачами залізниці, безумовно, є підвищення швидкості руху з забезпеченням відповідного рівня надійності, поновлення парку рухомого складу та ін. Але, на наш погляд, однією з пріоритетних задач галузі також залишається виведення ремонтного виробництва (локомотиворемонтних заводів, депо) на сучасний рівень. Це диктується тим, що деталі в процесі експлуатації завжди зношуються і їх треба або замінювати новими, або відновлювати. Деталі нових локомотивів через деякий час також необхідно буде відновлювати, не кажучи вже про існуючий зношений рухомий парк.

Для вирішення поставленої задачі, тобто удосконалення ремонту рухомого складу, необхідно: по-перше, провести випробування і пристосування існуючих в інших галузях передових ремонтних технологій з корегуванням на умови експлуатації рухомого складу, по-друге, проводити дослідження по розробці нових технологій відновлення деталей рухомого складу. При цьому застосування тих або інших технологій відновлення зношених деталей можливе лише після отримання позитивних результатів з їх оптимізації по ряду критеріїв.

На сьогодні усі технології ремонту передбачають відновлення зношених деталей одним суцільним шаром [1; 2]. Однак, на нашу думку, одним з перспективних напрямків розвитку ремонтного виробництва є відновлення деталей шаруватими покриттями.

Застосування шаруватих покриттів розвинуто лише в мікроелектроніці, при нанесенні захисних та декоративних покриттів, а на залізничному транспорті вони не застосовувались. Це обумовлено, імовірно тим, що дослідження велися відносно субмікрошарів, тобто розглядалась структура на рівні зерна. Що стосується шарів, загальна товщина яких складає декілька міліметрів, то таких досліджень набагато менше, і як вже вказувалось, ці дослідження не велися для залізничного транспорту, а також в літературі по цьому питанню можна зустріти суперечливі результати. Однак, незважаючи на протилежність поглядів деяких науковців, переваги багатшарових покриттів перед моношаруватими є безсуперечними.

Отримувати шаруваті покриття можна різними методами. Вважаючи, що згідно з правилами ремонту електровозів [3; 4] одним із поширених методів відновлення деталей є електролітичний, розглянемо саме цей метод.

Шари відновлюючого покриття можуть складатись не тільки з різних металів, а і з одного металу, але з різною структурою. На сьогодні відомо декілька шляхів формування шаруватих покриттів. Один з них – постійним струмом з двох або трьох різних за складом електролітів, в різних гальванічних ваннах у тому числі. Подібні ре-

зультати отримані при використанні постійного струму. Але, на наш погляд, більш перспективним є інше рішення – отримання багатошарових покриттів в одній ванні, в одному електроліті. Це можливо при застосуванні, так званого, програмного електролізу, одна з цих технологій коротко наведена в цій роботі.

Як відомо, метою використання шаруватих покриттів є отримання заданих властивостей з забезпеченням при цьому стабільності структури. Умовно шарувате відновлювальне покриття, на наш погляд, можна розділити на три ділянки: початковий (адгезійний) шар, основний (робочий) та кінцевий (приробчий) шар. Це зовсім не означає, що доцільно використовувати тільки три шари, оскільки кожний із зазначених

шарів може, у свою чергу, складатися з шарів з заданими властивостями. Зауважимо, що ця особливість можлива лише для програмного електролітичного нанесення покриттів. До того ж, товщина шарів може регулюватись в широких межах: від 0,1 мкм до 2 мм.

Не зупиняючись на проміжних операціях, розглянемо гальванічний процес отримання шарів заліза.

У розробленій технології ми використовуємо комбінацію асиметричного та постійного струму (рисунок), отримуючи необхідні властивості відновлювальних шарів шляхом регулювання густини струму J та катодно-анодного відношення β . Густина струму змінювали 3...25, а β 1,3...9 А/дм².



Рис. Струмові режими залізнення

Для асиметричного струму середнє значення струму прямого півперіоду за період T дорівнює

$$I_{\text{ср}}^{\text{пр}} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_m^{\text{пр}} \sin t dt = \frac{I_m^{\text{пр}}}{\pi}, \quad (1)$$

а середнє значення струму зворотного півперіоду за період T

$$I_{\text{ср}}^{\text{зв}} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_m^{\text{зв}} \sin t dt = -\frac{I_m^{\text{зв}}}{\pi}. \quad (2)$$

Швидкість осадження визначаємо як

$$\frac{d\delta}{d\tau} = \frac{KI_{\text{ср}}^c \eta}{S\rho}, \quad (3)$$

де $I_{\text{ср}}^c$ – середній сумарний струм; K – електрохімічний еквівалент осадженого металу; η – вихід за струмом осадженого металу; S – площа електрода; ρ – густина металу.

В (3) величина $I_{\text{ср}}^c$ визначається як

$$I_{\text{ср}}^c = I_{\text{ср}}^{\text{пр}} \frac{\beta - 1}{\beta}, \quad (4)$$

де катодно-анодне відношення дорівнює

$$\beta = \frac{I_{\text{ср}}^{\text{пр}}}{I_{\text{ср}}^{\text{зв}}}, \quad (5)$$

тоді середня густина струму

$$J_{\text{ср}}^c = J_{\text{ср}}^{\text{пр}} \frac{\beta - 1}{\beta}. \quad (6)$$

Отримані залежності дозволяють вести розрахунок по струму прямого півперіоду при асиметричному осадженні шарів заліза. При перемиканні системою автоматики джерела на постійний струм швидкість осадження розрахунково приймається приблизно рівним 0,2 мм при $J = 20$ А/дм² та 0,25 мм $J = 25$ А/дм².

У початковий період, насамперед, необхідно отримати максимально можливе значення міцності зчеплення $\sigma_{\text{зч}}$ відновлювального шару з основним металом. Початковий період доцільно поділити не менш, як на три етапи (див. рисунок). Режимми джерела напруги наведені в таблиці.

Таблиця

Режими джерела напруги

Період	Густина струму, $J, \text{А/дм}^2$	Катодно-анодне співвідношення, β	Час, хв
Початковий	3	1,3	3
	7	6	7
	15	9	5
Основний	20...25	0...9	Задане
Кінцевий	5...25	0...9	10

Власне залізнення здійснюють в електроліті складу (г/л): залізо хлористе – 400...420; кислота соляна – до рН $\sim 0,8...0,9$; можливо додавання аскорбінової кислоти концентрацією ~ 1 г/л. Електроліт готують із стружки – відходів маловуглецевої сталі (сталі 3; 5, 10, 20). Температура електроліту – температура навколишнього середовища.

Особливістю розробленого процесу є те, що у робочий (основний) період з деякою періодичністю система автоматики перемикає джерело напруги з постійного на асиметричний струм та назад. Періодичність перемикачів та зазначені вище параметри залежать від властивостей, якими повинні володіти відновлювальні шари. Такий підхід дає змогу чергувати пластичні шари з міцними.

Цікавим є і кінцевий період нанесення покриттів. Якщо за умовою необхідно отримати м'який приробчий шар, то необхідно зменшити густину струму і при перемиканні джерела на асиметричний струм, плавно довести β до 2. Зауважимо, що процес повинен вестись автоматично, оператор лише задає початкові умови та контролює процес. У разі необхідності отримання зміцненого кінцевого шару, треба густину струму залишити на рівні 20...25 А/дм²,

а β збільшити до 8. Якщо по завданню треба отримати тріщинуваті покриття, то β слід збільшити не менш як до 9...10, залишаючи густину струму на рівні не менше 20 А/дм².

Враховуючи вищезазначене, нами запропоновано відновлення багатошарові покриттями, які складаються з мікрошарів і наносяться в одному електролізері за допомогою програмного електролізу. За допомогою «керованої» мікрошаруватості можливе формування покриттів з високим рівнем функціональних властивостей, а також стабілізувати їх.

У результаті досліджень нами встановлено, що програмний електроліз дозволяє отримувати відновлювальні залізні покриття, які в 2–3 рази мають більшу міцність і при цьому в 1,3–1,5 рази менші внутрішні напруження, ніж одношарові. Підвищення міцності багатошарових покриттів можна пояснити бар'єрним ефектом міжфазних границь і перебудовою внутрішньої структури шарів при зміні їх товщини δ . Помітне зміцнення шаруватих покриттів спостерігається вже при $\delta \leq 0,1...0,2$ мкм. А зменшення внутрішніх напружень, імовірно, відбувається за рахунок отримання проміжних, відносно м'яких, тобто більш пластичних шарів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Какуєвицкий В. А. Ресурсосберегающие технологии восстановления автомобилей. – М.: Транспорт, 1993. – 177 с.
2. Курасов Д. А. Справочник технолога по ремонту электроподвижного состава железнодорожного транспорта / Д. А. Курасов, В. И. Эльперин. – К.: Техніка, 1990. – 192 с.
3. Правила среднего и капитального ремонта электровозов постоянного тока. – М.: Транспорт, 1980. – 247 с.
4. Правила деповского ремонта электровозов постоянного тока. – М.: Транспорт, 1980. – 276 с.

Надійшла до редколегії 08.09.2005.

Г. Г. БАСОВ, В. П. ГУНДАРЬ (ОАО ХК «Лугансктепловоз»),
С. И. ЯЦКО (УкрГАЗЖ), О. В. РОМАНЕНКО (ВНУ им. В. Даля)

РАЗРАБОТКА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА, УЧЕТА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Наведена розроблювальна система обліку, обробки й аналізу показників технічної експлуатації й надійності рухомого складу.

Представлена розроблювальна система учета, обработки и анализа показателей технической эксплуатации и надежности подвижного состава.

A system of the account, processing and analysis of parameters of operation and serviceability of rolling stock, which is currently under development, is presented in the article.

Перспективой развития железнодорожного транспорта Украины является создание экономических систем с высоким уровнем безопасности и обладающих соответствующим уровнем качества и надежности. Реализация данных требований обуславливает необходимость разработки и внедрения в производство и эксплуатацию автоматизированных систем управления качеством, одной из важнейших составных частей которых является диагностика и прогнозирование надежности. Это свою очередь предопределяет создание эффективной системы сбора, хранения, обработки и анализа данных. Данная проблема предполагает решение задач разного уровня, от создания баз данных так называемых корпоративных информационных систем, до создания локальных систем. В настоящее время данные системы интенсивно разрабатываются с использованием прогрессивных технологий и новейшего аппаратного и программного инструментария [1]. Это в полной мере относится и к железнодорожному транспорту, в частности, к подвижному составу.

Особую актуальность данная задача приобретает в случае перехода от планово-предупредительной системы обслуживания и ремонта подвижного состава к системе обслуживания и ремонта по фактическому состоянию.

Перспектива внедрения данного технического обслуживания и ремонта подвижного состава в значительной мере будет зависеть от возможности получения исчерпывающей и достоверной информации о состоянии оборудования и деталей подвижного состава. Источником данной информации должны быть результаты анализа как статистической информации о неисправностях оборудования, так и результаты его диагностирования.

На сегодняшний момент времени имеющиеся системы сбора и обработки информации о состоянии подвижного состава не удовлетворяют поставленным целям [2]. Решение данной задачи видится в применении новых информационных технологий, обеспечивающих выполнение поставленной задачи системы учета и обработки информации. В настоящее время ОАО ХК «Лугансктепловоз» совместно с кафедрой железнодорожного транспорта ВНУ им. В. Даля (г. Луганск) и УкрГАЗЖТ (г. Харьков) выполняют работу по созданию новой системы учета и обработки информации о надежности подвижного состава.

На данном этапе, с целью апробации принятых решений, создается база данных по электропоездам ЭПЛ2Т и ЭПЛ9Т (рис. 1). База данных ориентирована на работу в режиме диалога специалиста-технолога, отвечающего за учет технической эксплуатации подвижного состава, и не требует от специалиста знаний программирования. Создание такой системы сбора информации не требует дополнительных затрат, так как большинство крупных депо на сегодняшний день оборудованы компьютерной техникой. Предполагается, что информация, хранящаяся в базе данных, позволит обеспечить своевременное обнаружение предотказного состояния системы, оборудования, узла, детали или агрегата электропоезда.

На основе проведенных исследований и рекомендаций перечень контролируемых параметров системы значительно расширен.

Идентификационная система оснащения электропоездов «Экспресс» предназначена для ведения электронного учета показателей технической эксплуатации. База данных устанавливается в техническом отделе или службе подвижного состава, или непосредственно в ремонтно-эксплуатационных парках.

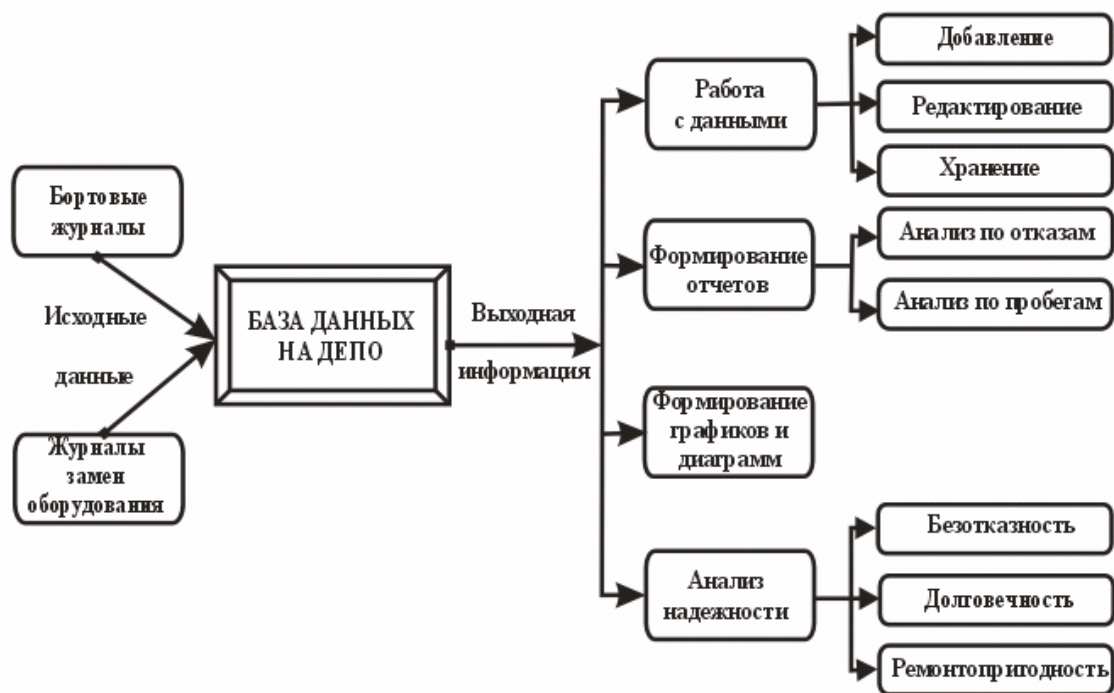


Рис. 1. Блок-схема ведения электронного учета технической эксплуатации подвижного состава

Использование идентификационной системы позволяет:

- выполнять автоматизированный ввод и редактирование данных по пробегам и отказам, ремонтным работам, плановым и внеплановым ремонтам подвижного состава;
- добавлять и редактировать, обрабатывать и хранить данные;
- формировать выборки по отказам для систем, узлов, конкретной подвижной единицы и для подвижных единиц одного типа в целом;
- выполнять разбиение отказов по подсистемам с определением процентного соотношения числа отказов по ним;
- строить диаграммы и графики, отражающие динамику возникновения отказов по узлам;
- определять показатели надежности по статистическим данным.

При внедрении систем диагностирования на подвижном составе, а также при переходе на систему обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию оборудования необходимо решить задачу сбора, накопления и анализа статистической информации по отказам и неисправностям.

Сбор данных об отказах и о пробегах электропоездов выполняется непосредственно из первичных документов (бортовых журналов и журналов замен оборудования). Как правило, первичная статистическая информация о отказах электропоездов отличается неточностью

формулировок, а также часто в ней содержится описание последствий и признаков отказа вместо наименования отказавшего узла или детали и характера их повреждения. В связи с этим необходим тщательный анализ и изучение такой информации и приведении ее к необходимому виду. Эффективная эксплуатация базы данных требует определения общих принципов систематизации данных о неисправностях (отказов) подвижного состава.

Для реализации системы необходимо разработать единые для каждой серии подвижного состава классификаторы систем, оборудования, деталей, отказов и т. д. В основу разрабатываемой методики положена классификационная схема, построенная по принципу структурного деления сложных схем на части (рис. 2).

При таком подходе в первую очередь описываются все депо. Каждое депо характеризуется своим названием и уникальным кодом. Это позволяет проводить анализ надежности оборудования электропоездов, принадлежащих разным депо, и как следствие, – проводить сравнительный анализ отказов подвижного состава по всей железной дороге.

Затем необходимо описать каждую единицу подвижного состава. Он характеризуется номером, типом подвижного состава и принадлежностью к депо. Каждому электропоезду присваивается свой позиционный код. И в информации о нем описываются его вагоны. В зависимости от исходной информации ПЕ может иметь любое количество номеров единиц (вагонов).

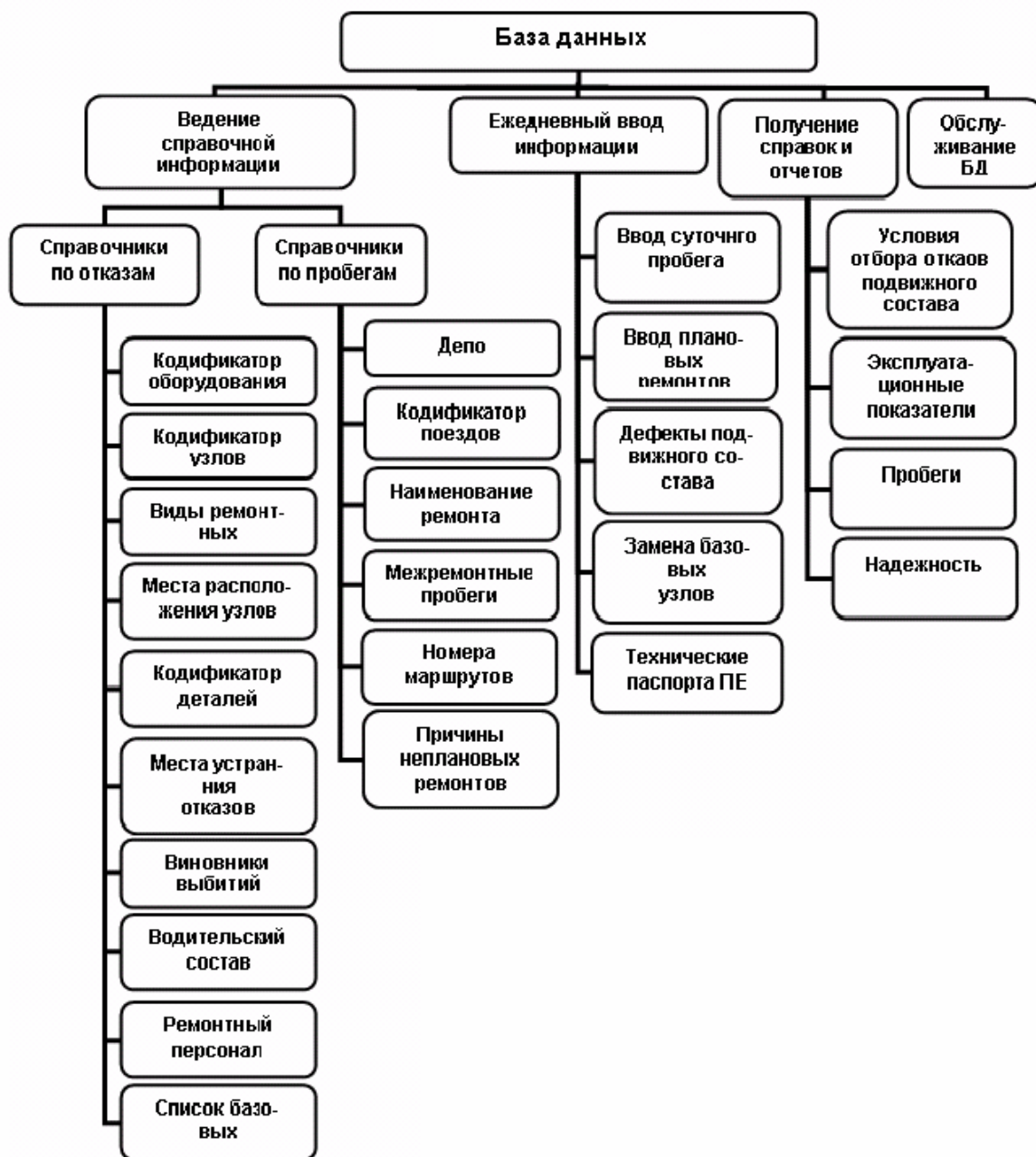


Рис. 2. Структура базы данных электронного учета отказов и пробегов ПЕ

Это позволит проводить анализ эксплуатационных характеристик и надежности каждой подвижной единицы и при необходимости по каждому вагону, указанному пользователем электропоезда.

Для проведения полного анализа надежности подвижного состава предполагается следующее структурное деление:

1. Кодификатор оборудования. Все оборудование ПЕ делится на несколько видов. Каждому виду оборудования ПЕ присваивается отдельный код. Наличие данного кодификатора позволяет получать справки и отчеты по надежности каждого вида оборудования.

2. Кодификатор узлов. Кодификатор используется для подготовки информации по надежности узлов.

3. Кодификатор мест расположения узлов. Программа создает типовой кодификатор мест деталей. Вы можете внести изменения в любое название или удалить код. Кодификатор используется для контроля вводимой информации об отказах деталей (узлов). Создание данного кодификатора необходимо при наличии на ПЕ узлов (деталей) одинакового наименования.

4. Кодификатор виды ремонтных работ. Программа создает типовой кодификатор ремонтных работ. Вы можете внести изменения в любое название или удалить код. Кодификатор

используется для контроля вводимой информации, расчета трудозатрат и стоимости работ на устранение отказов, а также для подготовки справок и отчетов по количеству замен деталей (или других работ, выполняемых на подвижном составе).

5. Кодификатор деталей. Чтобы создать кодификатор деталей ПЕ, Вам необходимо из всех деталей ПЕ отобрать те детали, по которым Вы желаете вести учет отказов. Деталь может быть включена в кодификатор, если она может быть отдельно заменена на ПЕ. В качестве детали можно записать агрегат (узел), если он может быть отдельно заменен на ПЕ. Включение таких агрегатов в кодификатор обязательно.

При вводе кода детали необходимо указать к какому виду оборудования или агрегата она относится. Поле «Коды мест» заполняется в случае наличия на ПЕ одинаковых деталей (тележка задняя, тележка передняя), в остальных случаях в графе проставляется 0. Графа «Коды работ» заполняется при необходимости вести учет выполненных ремонтных работ, иначе в ней достаточно записать код 0.

6. Кодификатор причин отказов деталей. Необходимо определить, какие виды отказов имеются на подвижном составе, который эксплуатируются в Вашем парке. Каждому виду отказа присвойте код. Типовыми видами отказов являются: пробой изоляции, механический износ, старение, ослабление крепления, коррозия и т. д. Кодификатор используется для подготовки справок и отчетов о причинах отказов узлов.

7. Кодификатор мест устранения дефектов. Программа создает типовой кодификатор мест устранения дефектов. Вы можете изменить название любого кода либо дополнить его. Кодификатор используется для контроля вводимой информации об отказах узлов и подготовки справок и отчетов о количестве восстановлений ПЕ, выполненных при ТО и т. д.

8. Кодификатор виновников выбытий. Программа создает типовой кодификатор виновников выбытий. Кодификатор используется при подготовке информации о количестве выбытий по каждому виновнику.

9. Состав локомотивных бригад. База данных хранит информацию о составе бригад в следующем виде: табельный номер, класс, номер бригады, номер подвижной единицы закрепленной за бригадой.

Список бригад заполняется в случае необходимости вести учет отказов ПЕ по бригадам.

10. Ремонтный персонал. База данных хранит информацию о ремонтном персонале в следующем виде: табельный номер слесаря, разряд слесаря, номер бригады.

Список слесарей заполняется при необходимости вести учет выполненных работ каждым слесарем и для расчета коэффициентов трудового участия.

11. Кодификатор видов выбытий. Программа создает типовой кодификатор видов выбытий. Вы можете изменить название любого кода или дополнить его другими кодами.

12. Список базовых узлов. Программа создает типовой кодификатор базовых узлов.

Для ведения учета по пробегам подвижных единиц необходимо описать следующие данные:

1. Наименование ремонтов. Кодификатор используется для контроля ввода, подготовки справок и отчетов о выполненных плановых ремонтах.

2. Номера маршрутов. С помощью данной программы Вам необходимо записать все номера маршрутов, которые обслуживаются Вашим парком.

3. Межремонтные пробеги. Программа создает типовой кодификатор межремонтных пробегов. Здесь имеются следующие поля: тип ПЕ, Код ремонта, Нормированный пробег, Время работы.

4. Причины неплановых ремонтов. Программа создает типовой кодификатор видов неплановых ремонтов. Кодификатор используется для контроля ввода, подготовки справок и отчетов о выполненных неплановых ремонтах.

Предполагается ежедневный ввод следующих данных:

1. Суточный пробег. Программа предназначена для записи данных о суточном пробеге каждой ПЕ.

2. Плановые ремонты. Программа позволяет записать информацию о выполненных плановых ремонтах. В базе данных, которую создает программа, запоминается номер ПЕ, код ремонта, дата постановки и дата выхода ПЕ из ремонта.

3. Неплановые ремонты. Программа позволяет записать информацию о выполненных неплановых ремонтах. В базе данных, которую создает программа, запоминается номер ПЕ, код ремонта, дата постановки и дата выхода ПЕ из ремонта.

4. Дефекты подвижного состава. Программа ввода дефектов ПЕ позволяет записать информацию об отказах (неисправностях) ПЕ и ремонтных работах, выполненных на ПЕ. Количество вводимой информации определяется пользователем при запуске пакета программ в эксплуатацию и в процессе эксплуатации может быть увеличено или уменьшено.

5. Замена базовых узлов. Программа позволяет записать в базу данных информацию о перестановках узлов ПЕ, имеющих индивиду-

альные номера (назовем их базовыми узлами). Ведение учета замен узлов позволит Вам получить любую информацию о заменах базовых узлов. Например, возможно получение информации о работе узла с начала его эксплуатации или получение информации о распределении причин отказа узла и распределении пробега единицы оборудования (детали) на ПЕ от замены до замены.

Представленная выше система учета и обработки информации о надежности подвижного состава является открытой и допускает корректировки и дополнения. В настоящее время данная система проходит апробацию в ходе проведения эксплуатационных испытаний электропоездов ЭПЛ2Т и ЭПЛ9Т производства ОАО ХК «Лугансктепловоз».

Выводы

Представлен один из возможных вариантов системы учета и обработки информации о надежности подвижного состава. Данная система

рассматривается авторами как составная часть автоматизированной системы управления качеством, внедрение которой создаст основу для перехода на систему обслуживания и ремонта подвижного состава по фактическому состоянию, позволит снизить затраты на обслуживание и ремонт с одновременным повышением их качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кривуля Г. Ф. Проблемы проектирования баз данных корпоративных информационных систем / Г. Ф. Кривуля, М. Мухайрат, В. В. Калачева // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – № 4. – С. 9–12.
2. Очкасов А. Б. Система учета и обработки информации о надежности локомотивов / А. Б. Очкасов, Е. Б. Боднар // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту Міністерства транспорту України: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: КУЕТТ, – 2003. – № 1, 2. – С. 136–137.

Поступила в редколлегию 17.07.2005.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ЛОКОМОТИВОВ КОМАНДНОГО ТИПА

Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень гальмівних систем локомотивів командного типу за часом наповнення магістралі допоміжного гальма і гальмівних циліндрів. Проводиться їх порівняння. Підтверджується перевага гальмівної системи локомотива командного типу як найбільш пріоритетної при створенні сучасних типів швидкісних локомотивів.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований тормозных систем локомотивов командного типа по времени наполнения магистрали вспомогательного тормоза и тормозных цилиндров. Проводится их сравнение. Подтверждается преимущество тормозной системы локомотива командного типа как наиболее приоритетной при создании современных типов скоростных локомотивов.

The article enlists the results of theoretical and experimental research of brake systems of the command-type locomotives according to the filling time of mainline of the auxiliary brake and the brake cylinders, and makes their comparison. The advantages of the brake system of the command-type locomotive has been proved to be the best choice in designing the present-day high-speed locomotives.

Анализ структуры тормозных систем локомотивов командного типа [4; 5] позволяет выделить в качестве типовых элементов расчетных схем следующие подсистемы:

- 1) резервуар постоянного объема с двумя дросселями, через которые поступает и отводится газ (подсистема «КВТ-МВТ-РД»);
- 2) резервуар переменного объема (тормозной цилиндр), зависящего от перемещений поршня; на входе резервуара – переменное во времени произвольное давление (подсистема «ПМ (-РД) – ТЦ» с учетом задания формы кривой изменения давления в подсистеме «КВТ-МВТ-РД»);
- 3) резервуар постоянного объема, связанный через дроссели с резервуаром переменного объема (подсистема «КВТ-МВТ-ТЦ»).

Модель подсистемы «КВТ-МВТ-РД»

Дифференциальное уравнение, описывающее процесс изменения давления в резервуаре, имеет следующий вид:

$$\frac{dP_p}{dt} = \frac{kRT}{V} \left(G \left(\frac{P_p}{P_1(t)}, d_1 \right) - G \left(\frac{P_2}{P_p}, d_2 \right) \right),$$

где V – объем резервуара, м³; $P_1(t)$ – функция изменения во времени t давления на выходе из КВТ, обусловленное конечным временем Δt включения устройства; в линейной форме

$$P_1(t) = \begin{cases} P_a + \frac{P_M - P_a}{\Delta t} \text{ при } t \leq \Delta t; \\ P_M & \text{ при } t > \Delta t, \end{cases}$$

где P_M – абсолютное давление в питающей магистрали; P_a – давление окружающей среды (при нормальных условиях $P_a = 1,033 \text{ кгс/см}^2$).

Модель подсистемы «ПМ (-РД) – ТЦ»

Модель данной подсистемы представляет собой следующую систему дифференциальных уравнений, состоящую из уравнения 1-го порядка, характеризующего изменение давления в тормозном цилиндре при наполнении его воздухом, и уравнения 2-го порядка, описывающего динамические перемещения поршня:

$$\begin{cases} \frac{dP_{\text{тц}}}{dt} = k \left(\frac{RT}{V_0 + S_n x} G \left(\frac{P_{\text{тц}}}{P(t)}, d \right) - \frac{P_{\text{тц}}}{\frac{V_0}{S_n} + x} \cdot \frac{dx}{dt} \right) \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} = (P_{\text{тц}} - P_a) S_n - K_{\text{пр}} - F_{\text{пр}} - C_n \frac{dx}{dt} + P_a S_{\text{ш}} \pm F_n, \end{cases}$$

где $P(t)$ – функция изменения давления в МВТ, Па; $P_{\text{тц}}$ – абсолютное давление в тормозном цилиндре, Па; d – диаметр входного отверстия в ТЦ; m – масса продольно перемещаемой совместно с поршнем системы, кг; x – перемещение поршня, м

$$0 \leq x \leq X_{\text{max}},$$

X_{max} – допустимый выход штока ТЦ, м; S_n – площадь поршня, м²; $S_{\text{ш}}$ – площадь сечения

штока, м²; V_o – постоянная составляющая объема ТЦ, м³; V – переменная составляющая объема ТЦ, м³

$$V = S_n x;$$

$F_{пр}$ – усилие предварительной затяжки отпущенной пружины ТЦ, Н; $K_{пр}$ – жесткость отпущенной пружины ТЦ, Н/м; C_n – показатель демпфирования (вязкого трения), реализуемого при движении поршня, Н·с/м; F_n – сила полезного сопротивления, Н.

Модель подсистемы «КВТ-МВТ-ТЦ»

МВТ представляется в виде резервуара, к которому параллельно подсоединены n тормозных цилиндров, представленных как показано ранее в виде резервуаров переменного объема. Считая, что динамические процессы в ТЦ протекают идентично, а также полагая, что $d_2 = d$ и $P_{тц} = P_2$, рассматриваемую модель подсистемы можно описать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dP_p}{dt} = \frac{kRT}{V_p} \left(G \left(\frac{P_p}{P_1(t)}, d_1 \right) - nG \left(\frac{P_{тц}}{P_p}, d \right) \right); \\ \frac{dP_{тц}}{dt} = k \left(\frac{RT}{V_0 + S_n x} G \left(\frac{P_{тц}}{P}, d \right) - \frac{P_{тц}}{V_0 + x} \cdot \frac{dx}{dt} \right); \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} = (P_{тц} - P_a) S_n - K_{пр} x - F_{пр} - C_n \frac{dx}{dt} + P_a S_{ш} \pm F_n. \end{cases}$$

На основе представленных математических моделей подсистем можно, используя модульный принцип, составить полные модели пневматических систем рассматриваемых локомотивов. При этом дифференциальные уравнения 2-го порядка приводятся к системе уравнений 1-го порядка и представляются в форме Коши. Анализ полученных систем дифференциальных уравнений проводится на основе процедур численного интегрирования. Ввиду существенной нелинейности уравнений, при компьютерном моделировании динамических процессов используются численные методы с автоматическим выбором шага интегрирования.

В результате проведенных теоретических исследований [3; 4] методом математического моделирования были получены графические зависимости по наполнению магистрали вспомо-

гательного тормоза и тормозных цилиндров локомотивов, учитывающие динамические процессы протекающие в магистрали вспомогательного тормоза и тормозных цилиндрах, а также действие системы «поршень – тормозная рычажная передача – тормозная колодка».

С учетом проведенных экспериментальных исследований на графические зависимости были наложены точки экспериментальных данных времени наполнения магистрали вспомогательного тормоза и тормозных цилиндров электровозов ДСЗ, ДЭ1. На рис. 1 и 2 представлены зависимости переходных процессов (изменение величин давлений) во времени, происходящих в магистрали вспомогательного тормоза и тормозных цилиндрах указанных электровозов с системой командного типа.

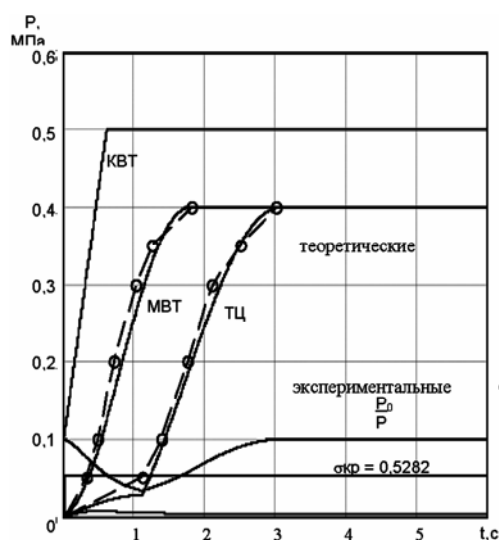


Рис. 1. Переходные процессы во времени в магистрали вспомогательного тормоза и тормозных цилиндрах электровоза ДСЗ

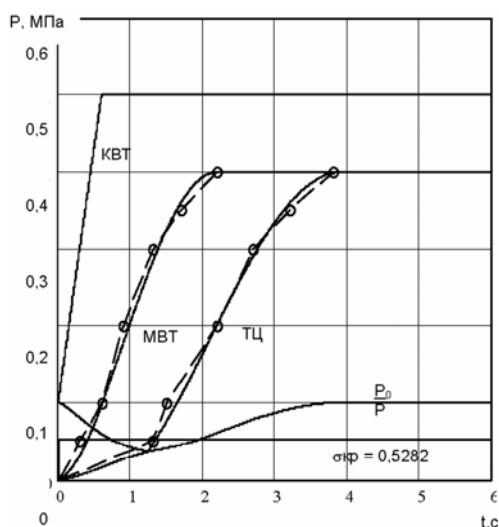


Рис. 2. Переходные процессы во времени в магистрали вспомогательного тормоза и тормозных цилиндрах электровоза ДЭ1

Анализ данных зависимостей показал высокую сходимость результатов математического моделирования с результатами проведенных экспериментов, что свидетельствует об универсальности математической модели и учета в ней факторов, влияющих на тормозную эффективность, в том числе и на действие системы «поршень–тормозная рычажная передача–тормозная колодка».

Проведенные исследования тормозных систем локомотивов показали, что время наполнения тормозных цилиндров до давления 0,35 МПа ($3,5 \text{ кгс/см}^2$) тормозной системы командного типа односекционного грузопассажирского электровоза ДСЗ составляет 2,5 с, двухсекционного грузового электровоза ДЭ1 – 3,2 с. Тормозные цилиндры локомотивов с тормозной системой командного типа наполняются в 1,6...2 раза быстрее, чем при использовании системы наполняюще-командного типа [4]. Это обуславливается применением реле давлений, через которые из питательной магистрали наполняются тормозные цилиндры локомотивов, магистраль вспомогательного тормоза работает в качестве магистрали, подающей только управляющие сигналы на них, а проходное сечение крана вспомогательного тормоза влияет только на наполнение магистрали вспомогательного тормоза.

Подтверждается преимущество тормозной системы командного типа как наиболее быстродействующей и приоритетной при создании современных типов скоростных локомотивов.

Математическая модель практически полностью отражает процессы, протекающие в тормозной системе локомотива, и позволит на этапах проектирования определить рациональные

параметры тормозной системы вновь создаваемых локомотивов.

Использование метода математического моделирования как инструмента для исследования и проектирования пневматических тормозных систем локомотивов позволяет удешевить разработку тормозной системы на этапе проектирования, существенно повысив его качество и сократив сроки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балон Л. В. Анализ и классификация существующих и перспективных пневматических тормозных систем многосекционных локомотивов / Л. В. Балон, В. И. Ляшенко, И. А. Яицков // Сб. науч. тр. ученых РГУПС. Тех. науки. – М. Воды: РГУПС, 2001. – Вып. 5. – С. 14–18.
2. Балон Л. В. Тормозная система перспективного грузопассажирского электровоза ДСЗ / Л. В. Балон, В. А. Смородин, И. А. Яицков // Доклады 2-й науч.-тех. конференции ассоциации АСТО «Перспективное тормозное оборудование для железнодорожного транспорта и метрополитена». – М.: АСТО, 2001. – С. 51–52.
3. Балон Л. В. Особенности математического моделирования пневматических тормозных систем локомотивов / Л. В. Балон, И. А. Яицков // Вісн. Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Ч. 1. – Луганськ, 2003. – № 9. – С. 55–59.
4. Балон Л. В. Математическое моделирование пневматических тормозных систем локомотивов / Л. В. Балон, И. В. Волков, И. А. Яицков // Наука, техника и высшее образование: проблемы и тенденции развития: Материалы научно-практической конференции (21–28 февраля 2004 г., Египет) – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2004. – С. 41–48.

Поступила в редколлегию 17.09.2005.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Виконані дослідження характеристик ділянки допустимих режимів гальмування відчепа та їх залежностей від параметрів відчепа та умов скочування. Встановлений взаємозв'язок режимів гальмування із витратами електроенергії на їх реалізацію.

Выполнены исследования характеристик области допустимых режимов торможения отцепа и их зависимостей от параметров отцепа и условий скатывания. Установлена взаимосвязь режимов торможения с расходами электроэнергии на их реализацию.

The article provides the research of the characteristics of the permissible scope of braking modes in uncoupling and their relations to the uncoupling parameters of cut and the rollback conditions. The interrelations have been established of the braking modes with the energy costs involved.

В современных условиях одним из основных направлений повышения эффективности функционирования сортировочных горок является сокращение затрат энергоресурсов на расформирование составов. В настоящее время поиск путей решения данной проблемы ведется по нескольким направлениям: создание новых и модернизация существующих вагонных замедлителей; совершенствование управления тормозными позициями; улучшение конструкции плана и профиля сортировочных горок; замена маневровых тепловозов электровозами при надвиге расформируемых составов и др.

Как показывает анализ, около 80 % всех расходов на расформирование составов составляют расходы электроэнергии на торможение вагонов горочными замедлителями. Указанные цифры свидетельствуют о необходимости исследований и оптимизации процесса торможения отцепов при роспуске составов на горках. Решение этой задачи позволит минимизировать непосредственные затраты энергоресурсов на торможение отцепов, а также сократить объем маневровой работы, связанной с ликвидацией окон на сортировочных путях и повторной сортировкой вагонов вследствие неразделения отдельных отцепов на стрелках.

Выполненный анализ современных научных работ по рассматриваемой проблеме [1–5] показал, что существующие в настоящее время методы управления процессом роспуска составов развиты недостаточно. Они не ставят целью сокращение расходов энергии на торможение вагонов замедлителями и в то же время не обеспечивают необходимое качество интервального и прицельного регулирования скорости скатывающихся отцепов. Не решена задача теоретической оценки минимальных затрат энергии, необходимой для роспуска

составов, указанная оценка необходима для определения потенциальных возможностей сортировочных горок. Существующие методы оптимизации режимов роспуска составов не ориентированы на реализацию энергосберегающих технологий.

Исследования работы замедлителей в процессе расформирования составов [6] показывают, что энергозатраты на торможение вагонов непосредственно связаны с числом включений замедлителей, которое зависит от параметров отцепов и условий роспуска. Анализ различных алгоритмов интервального регулирования [7] свидетельствует о зависимости расхода электроэнергии от технологии регулирования скорости движения отцепов на спускной части горки. Результаты данных исследований позволяют сделать вывод о возможности разработки энергосберегающих алгоритмов выбора режимов торможения отцепов и управления замедлителями в процессе роспуска составов.

Для решения указанной задачи необходимо предварительно установить взаимосвязь режимов торможения отцепов с показателями интервального и прицельного регулирования скорости их скатывания, а также с соответствующими затратами энергоресурсов. Исследования влияния режимов торможения на процесс управляемого скатывания отцепов с использованием имитационного моделирования были выполнены в [8]. Установлено, что для каждого отцепа существует область допустимых режимов торможения (ОДР), конфигурация и площадь которой существенно зависят от его параметров и условий скатывания.

В настоящей статье поставлена задача дальнейшего совершенствования модели управляемого скатывания отцепов с горки [8]. С этой целью выполнен анализ возможных ограничений режи-

мов торможения, связанных с мощностью замедлителей, условиями скатывания отцепов на спускной части горки, а также требованиями прицельного регулирования их скорости.

В работе приведены исследования зависимостей параметров ОДР от сопротивления движению отцепов, их длины и потребной дальности скатывания в различных условиях. Для оценки эффективности управления процессом роспуска и определения энергетических расходов, связанных с торможением отцепов, установлена взаимосвязь между режимами торможения и затратами электроэнергии, необходимыми для их реализации.

На трехпозиционных горках режим торможения скатывающегося отцепа можно представить вектором $h = (h', h'', h''')$ энергетических высот, погашаемых на верхней (ВТП), средней (СТП) и парковой (ППП) тормозных позициях. При этом из трех компонент вектора h только две являются независимыми, так как третья может быть определена из условия обеспечения заданной скорости отцепа в точке прицеливания. В этой связи ОДР Ω может быть представлена выпуклым многоугольником на плоскости $h'O'h''$, а некоторый режим $h \in \Omega$ – вектором $h = h', h''$.

Ограничения, образующие ОДР, определяются тремя группами факторов:

- номинальной мощностью замедлителей тормозных позиций;
- режимом скатывания отцепа на спускной части горки;
- требованиями прицельного регулирования скорости отцепа.

На рис. 1 показаны ограничения режимов торможения первых двух типов для очень хорошего бегуна (ОХ), скатывающегося в неблагоприятных зимних условиях при встречном ветре на горке с тремя тормозными позициями.

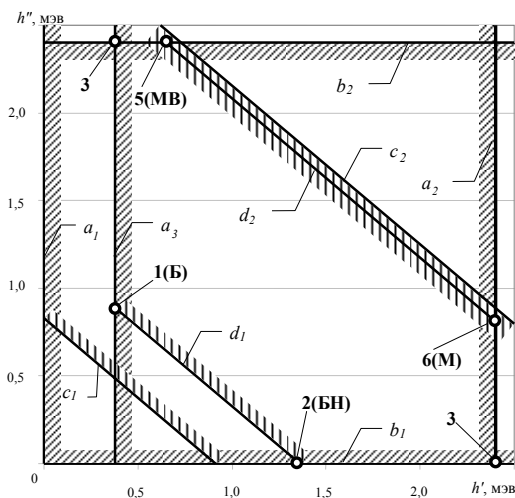


Рис. 1. Ограничения режимов торможения ОХ на тормозных позициях спускной части горки

Первую группу ограничений (ограничения по тормозной мощности замедлителей) можно представить как:

$$0 \leq h' \leq H';$$

$$0 \leq h'' \leq H'',$$

где H' , H'' – суммарная номинальная тормозная мощность замедлителей соответственно ВТП и СТП.

Графически указанные ограничения представляются прямоугольником, который образуют оси координат h' и h'' , а также линии, соответствующие мощности замедлителей ВТП (H') и СТП (H''); в дальнейшем указанный прямоугольник будем называть областью возможных режимов торможения (см. рис. 1, линии a_1 , a_2 , b_1 , b_2).

Вторая группа ограничений связана с режимом скатывания отцепа на спускной части горки. Всего таких ограничений четыре и определяются они минимальной и максимальной скоростями выхода отцепа из ВТП (u'_{\min} , u'_{\max}) и СТП (u''_{\min} , u''_{\max}). Указанные скорости определяют предельные значения энергетической высоты, которая может быть погашена на ВТП ($h' \in [h'_{\min}, h'_{\max}]$) и СТП ($h'' \in [h''_{\min}, h''_{\max}]$).

Максимальная скорость выхода отцепа из i -й ТП $u_{\max}^{(i)}$ и соответственно минимальная погашаемая высота $h_{\min}^{(i)}$ определяются из условия обеспечения допустимой скорости $v_d^{(i+1)}$ входа этого отцепа на следующую $(i+1)$ ТП:

$$h_{\min}^{(i)} = \min \left\{ h^{(i)} \mid v^{(i+1)}(h^{(i)}) \leq v_d^{(i+1)} \right\}. \quad (1)$$

Минимальная скорость выхода из i -й ТП $u_{\min}^{(i)}$ устанавливается так, чтобы не произошло остановки отцепа на позиции (принято $u_{\min}^{(i)} = 0,05$ м/с); при этом максимальная погашаемая высота $h_{\max}^{(i)}$ определяется как:

$$h_{\max}^{(i)} = \max \left\{ h^{(i)} \mid u^{(i)}(h^{(i)}) > u_{\min}^{(i)} \right\}. \quad (2)$$

Указанные ограничения для ВТП ($i=1$) представляют собой определенные числовые значения h'_{\min} , h'_{\max} , которые графически изображаются вертикальными линиями. В приведенном примере (см. рис. 1 линия a_3) $h'_{\min} = 0,38$ м эн. в., при которой скорость входа отцепа на СТП $v_d'' = 7,0$ м/с.

Энергетическая высота, при которой скорость выхода отцепа ОХ из ВТП минимальна, составляет $h'_{\max} = 2,88$ м эн. в. (см. рис. 1, линия a_4). Данное значение превышает номинальную мощность ВТП $H' = H'' = 2,4$ м эн. в., и поэтому в данном случае на ВТП $u'_{\min} > 0,05$. Напротив, при избыточной мощности ВТП величина h'_{\max} может быть меньше H' даже для отцепа ОХ при благоприятных условиях скатывания. В таких случаях тормозная мощность H' не может быть реализована из-за остановки отцепа на ВТП и соответственно на рис. 1 линия a_4 будет расположена слева от a_3 .

На СТП ($i = 2$) погашаемая высота h'' , при которой реализуется заданная скорость выхода отцепа u'' , зависит от его торможения на ВТП. Поэтому предельные значения погашаемой высоты здесь представляются функциями

$$h''_{\min} = f_1(h'), \quad h''_{\max} = f_2(h'),$$

которые, как показали исследования [8], линейны:

$$h''_{\min} = k_1 h' + b_1, \quad (3)$$

$$h''_{\max} = k_2 h' + b_2. \quad (4)$$

При этом угловые коэффициенты в (3) и (4) практически одинаковы ($k_1 = k_2 = k$), так что соответствующие участки границы ОДР параллельны. В примере на рис. 1 показаны ограничения $h''_{\min} = -0,908h' + 1,449$ (линия c_1) и $h''_{\max} = -0,905h' + 3,023$ (линия c_2).

Следует подчеркнуть, что при каждом режиме торможения, принадлежащем линии $h''_{\min} = f_1(h')$, реализуется одна и та же скорость выхода отцепа из СТП $u''_{\max} = 5,54$ м/с, при которой обеспечивается максимальная допустимая скорость его входа на ПТП. При реализации же любого режима торможения, находящегося на линии $h''_{\max} = f_2(h')$, отцеп выходит из СТП с установленной минимальной скоростью $u''_{\min} = 0,05$ м/с.

Коэффициент k в (3), (4) является отрицательным, а по абсолютной величине несколько меньше единицы ($|k| < 1$); Это означает, что для обеспечения одной и той же скорости u'' выхода отцепа из СТП при торможении его только на ВТП потребуется погасить большую энергетическую высоту, чем при торможении только на СТП. Данный факт

объясняется зависимостью сопротивления движению отцепа от его скорости, среднее значение которой при торможении только на ВТП будет ниже. Данную закономерность необходимо учитывать при определении режимов торможения отцепов с целью сокращения энергетических расходов, связанных с регулированием их скорости. Численное значение k зависит от параметров отцепа и условий его скатывания (величина $|k|$ минимальна для очень плохих бегунов (ОП), скатывающихся в неблагоприятных зимних условиях).

Третья группа ограничений режимов торможения отцепов на ВТП и СТП определяется требованиями прицельного регулирования скорости. Для их выполнения необходимо, чтобы любой режим, принадлежащий ОДР ($h \in \Omega$), обеспечивал докатывание отцепа до точки прицеливания $s_{\text{п}}$ с допустимой при соударении скоростью $v_{\text{п}}$ ($0 \leq v_{\text{п}} \leq v_{\text{п.д}}$); при этом торможение на ПТП должно осуществляться в пределах ее номинальной мощности ($0 \leq h''' \leq H'''$). Указанными ограничениями определяются минимальная $u''_{\text{п.мин}}$ и максимальная $u''_{\text{п.макс}}$ скорости выхода отцепа из СТП по условиям прицельного регулирования. При этом минимальная скорость $u''_{\text{п.мин}}$ должна обеспечить докатывание отцепа до точки прицеливания со скоростью $v_{\text{п}} = 0$ без торможения на ПТП ($h''' = 0$). Максимальная скорость $u''_{\text{п.макс}}$ соответствует такому режиму скатывания, при котором полностью используется мощность ПТП ($h''' = H'''$), а скорость отцепа в точке прицеливания равна допустимой ($v_{\text{п}} = v_{\text{п.д}}$). Соответствующие предельные режимы торможения можно представить как:

$$h_{\text{п.мин}} = \{h'' | h''' = H''', v_{\text{п}} = v_{\text{п.д}}\}, \quad (5)$$

$$h_{\text{п.макс}} = \{h'' | h''' = 0, v_{\text{п}} = 0\}. \quad (6)$$

Величины $h''_{\text{п.мин}}$ и $h''_{\text{п.макс}}$ представляются линейными зависимостями, аналогичными (3) и (4), с тем же значением коэффициента k . В рассмотренном на рис. 1 примере указанные зависимости при $s_{\text{п}} = 720$ м показаны линиями $d_1 [h''_{\text{п.мин}} = f_1(h')]$ и $d_2 [h''_{\text{п.макс}} = f_2(h')]$.

Таким образом, выполненный анализ показал, что каждая из переменных h' , h'' может иметь несколько ограничений разного характера. Эти ограничения представляются параллельными

прямыми, и поэтому только одно из них может быть активным. В этой связи был разработан алгоритм построения ОДР, позволяющий идентифицировать и исключить неактивные ограничения до начала решения задачи оптимизации с учетом конструкции горки, параметров отцепа и условий скатывания. При этом была усовершенствована методика построения ОДР, изложенная в [8], в результате чего число узловых точек для определения ОДР было сокращено до четырех.

В рассматриваемом примере ОДР представляет собой шестиугольник с вершинами 1-2-4-6-5-3 (см. рис. 1). Из всех вершин ОДР необходимо выделить две критические точки: точку 1, определяющую режим быстрого скатывания (Б) и точку 6 – режим медленного скатывания (М), при которых время скатывания отцепа соответствен-

но минимально и максимально. Очевидно, что для построения ОДР достаточно идентифицировать еще две точки – точку 2 (БН), расположенную на нижнем конце линии $h''_{\min}(h')$, и точку 5 (МВ) на верхнем конце линии $h''_{\max}(h')$.

На рис. 2 показаны графики скорости скатывания отцепа ОХ при предельных режимах торможения, соответствующих четырем указанным вершинам ОДР. На данном рисунке заштрихованы области возможных режимов движения ОХ на участке от входа на ВТП до выхода из СТП, которые соответствуют режимам торможения, находящимся на границе ОДР (область *a* – режимы линии $h''_{\max}(h')$, область *b* – режимы линии $h''_{\min}(h')$).

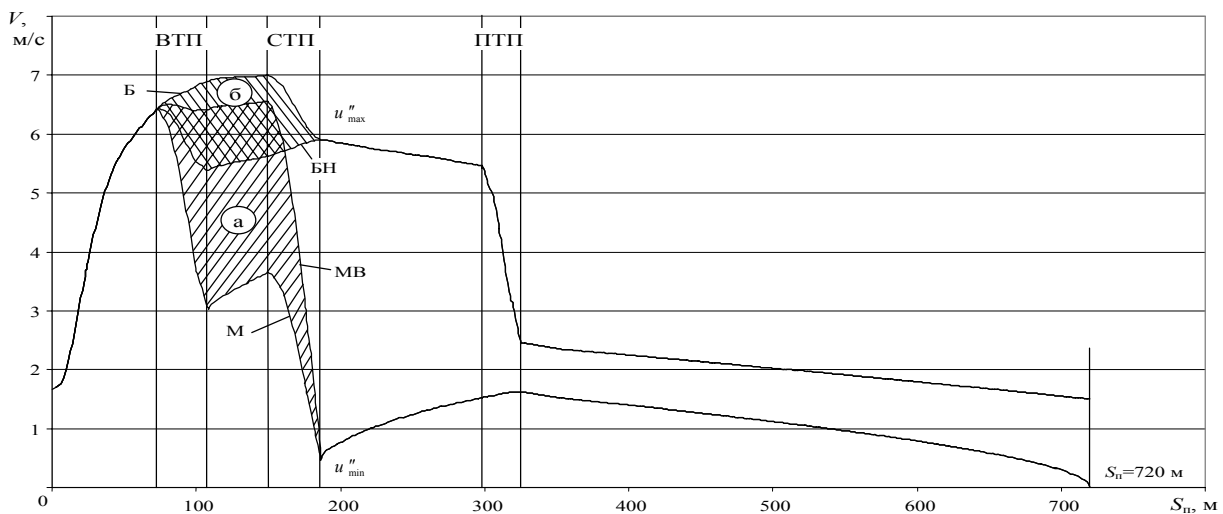


Рис. 2. Эпюры скорости скатывания ОХ при режимах торможения, соответствующих узлам ОДР

Как видно из приведенного рисунка, режим движения отцепа, определяемый скоростью u'' выхода его из СТП, а следовательно, и условия его разделения со смежными отцепами существенно зависят от степени участия ПТП в процессе регулирования скорости отцепа. С другой стороны, очевидно, что ПТП непосредственно определяет и условия прицельного регулирования скорости отцепа. В этой связи для выбора оптимального распределения работы между ТП горки необходимо предварительно установить возможные режимы торможения отцепов на ПТП, соответствующие каждой точке ОДР.

Очевидно, что любой скорости u''_i выхода отцепа из СТП, принадлежащей диапазону ее возможных значений $u''_{\min} < u''_i < u''_{\max}$ (см. рис. 2), соответствует определенный диапазон значений энергетической высоты h''' , погашаемой на ПТП ($h''' \in [h'''_{\min}, h'''_{\max}]$). При этом h'''_{\min}, h'''_{\max}

определяются предельными значениями скорости отцепа в точке прицеливания

$$v_{\Pi}(h'''_{\min}) = \{h'''_i | v_{\Pi} = v_{\Pi,д}\},$$

$$h'''_{i,\max} = \{h'''_i | v_{\Pi} = 0\}.$$

Характер изменения в ОДР допустимых режимов торможения h''' и соответствующих значений скорости v_{Π} показан на рис. 3. Для иллюстрации в ОДР (см. рис. 3, а) выбрана некоторая линия 1–4, для всех режимов h которой выполняется равенство $h' = h''$. Для указанной линии построены графики зависимостей предельных режимов торможения ПТП $h'''_{\min}(h)$ и $h'''_{\max}(h)$ (см. рис. 3, б) и соответствующих скоростей в точке прицеливания $v_{\Pi,\max}(h)$ и $v_{\Pi,\min}(h)$ (см. рис. 3, в).

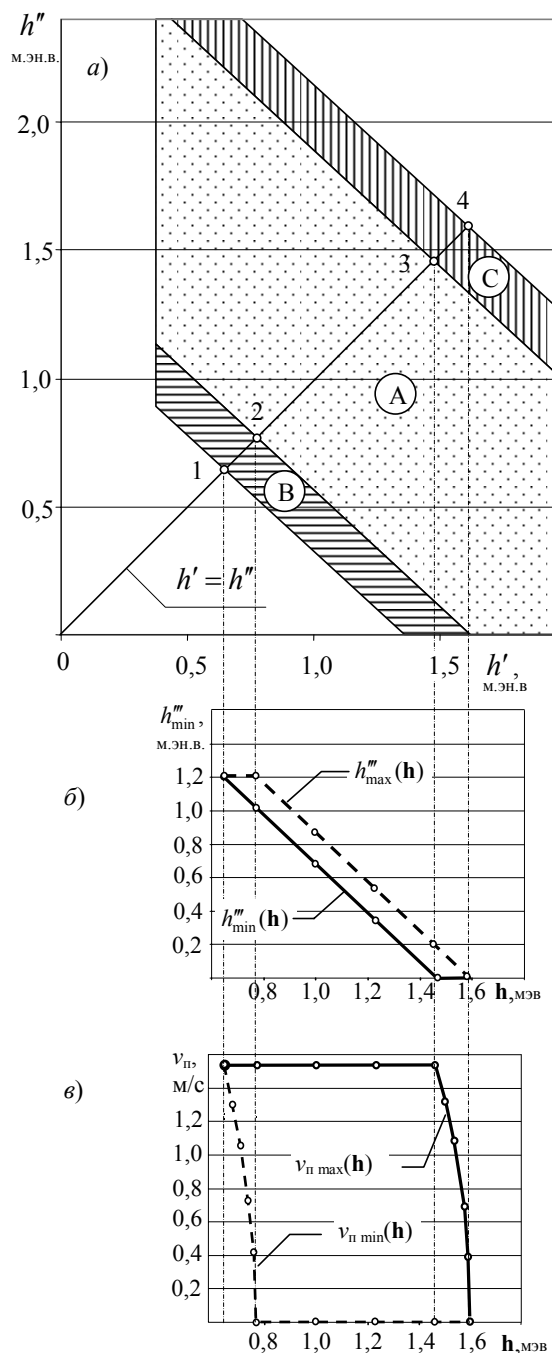


Рис. 3. Анализ режимов торможения отцепов на ПТП:
 а – зоны ОДР; б – предельные значения h''' ;
 в – область изменения скорости $v_{п}$

Как показывает анализ графиков, вся ОДР может быть разделена на три зоны – А, В и С, по характеру возможного варьирования величины h''' . В зоне А значения h'''_{\min} и h'''_{\max} линейно уменьшаются от точки 2 к точке 3; при этом в точке 2 $h'''_{\max} = H'''$, в точке 3 $h'''_{\min} = 0$, а разность $\Delta h''' = h'''_{\max} - h'''_{\min}$ остается постоянной во всей зоне А (см. рис. 3, б). В пограничных зонах В и С разность $\Delta h'''$ линейно уменьшается от своего максимального значения (точки 2, 3) до нуля (точки 1, 4).

Соответственно режимам h''' меняются и значения скорости $v_{п}$ в точке прицеливания. Максимальный диапазон изменения скорости $v_{п}$ – в зоне А ($0 \leq v_{п} \leq v_{п,д}$); в зонах В и С его ширина резко уменьшается от величины $v_{п,д}$ в точках 2, 3 до нуля в точках 1 и 4 (см. рис. 3, в).

Для решения задачи оптимизации режимов торможения отцепа необходимо установить взаимосвязь размеров ОДР и ее положения в системе координат $h'O'h''$ с параметрами отцепа и условиями его скатывания. С этой целью были выполнены исследования влияния различных факторов на параметры ОДР. В качестве контролируемых факторов рассматривались вес $Q_{в}$ и число вагонов $n_{отц}$ в отцепа, сопротивление движению w_0 , скорость $v_{вет}$ и направление ветра β , температура воздуха t °С, а также дальность скатывания отцепа $s_{п}$. Исследования проводились на основе имитационного моделирования скатывания отцепов с заданными параметрами и условиями роспуска. В результате моделирования для каждого отцепа были определены режимы торможения, соответствующие четырем узловым точкам ОДР – Б, БН, М, МВ, которые использовались для построения ОДР и расчета ее параметров.

В качестве основных параметров ОДР, характеризующих ее размеры и положение были приняты расстояния от начала координат до линий $h'''_{\min}(h')$ и $h'''_{\max}(h')$ (соответственно R_{\min} и R_{\max}), а также ширина ОДР $E = R_{\max} - R_{\min}$.

Установлено, что ширина ОДР E пропорциональна разности квадратов предельных скоростей выхода отцепа из СТП

$$E = k_E \left[(u''_{\max})^2 - (u''_{\min})^2 \right]. \quad (7)$$

С другой стороны, величина указанной разности в соответствии с законом сохранения энергии может быть определена как:

$$(u''_{\max})^2 - (u''_{\min})^2 = 2g'(H''' + \Delta h_w + h_{п}), \quad (8)$$

где Δh_w – изменение удельной работы всех сил сопротивления движению отцепа на участке от СТП до точки прицеливания при изменении скорости его движения; $h_{п}$ – удельная энергия, соответствующая скорости отцепа $v_{п}$ в точке прицеливания. Тогда, исходя из (7) и (8), ширину ОДР можно представить как:

$$E = 2k_E g'(H''' + \Delta h_w + h_{п}). \quad (9)$$

Как показали исследования, изменение параметров отцепов (Q_B, w_0) и условий скатывания ($v_{вет}$) приводит к существенным изменениям предельных скоростей выхода из СТП u_{max} , и, особенно, u_{min} . При этом указанные скорости возрастают с увеличением сопротивления движению отцепов и дальности их скатывания. Ширина ОДР E также зависит от указанных параметров, однако, в значительно меньшей степени. Действительно, в (9) все величины, кроме Δh_w , являются практически постоянными, а вариация удельной работы сил сопротивления $\Delta h_w = h(u_{max}'' - u_{min}'')$ незначительна.

В то же время сопротивление движению отцепа существенно влияет на положение ОДР в области возможных режимов торможения $h' \in [0, H']$ $h'' \in [0, H'']$. Очевидно, что с увеличением сопротивления движению отцепа уменьшается его торможение на ВТП и СТП, что соответствует смещению ОДР к началу координат. Установлено, что характер указанного изменения существенно зависит от скорости и направления ветра.

Для иллюстрации на рис. 4, а показаны графики зависимости величин R_{min} и E от сопротивления движению отцепа w_0 при встречном ветре.

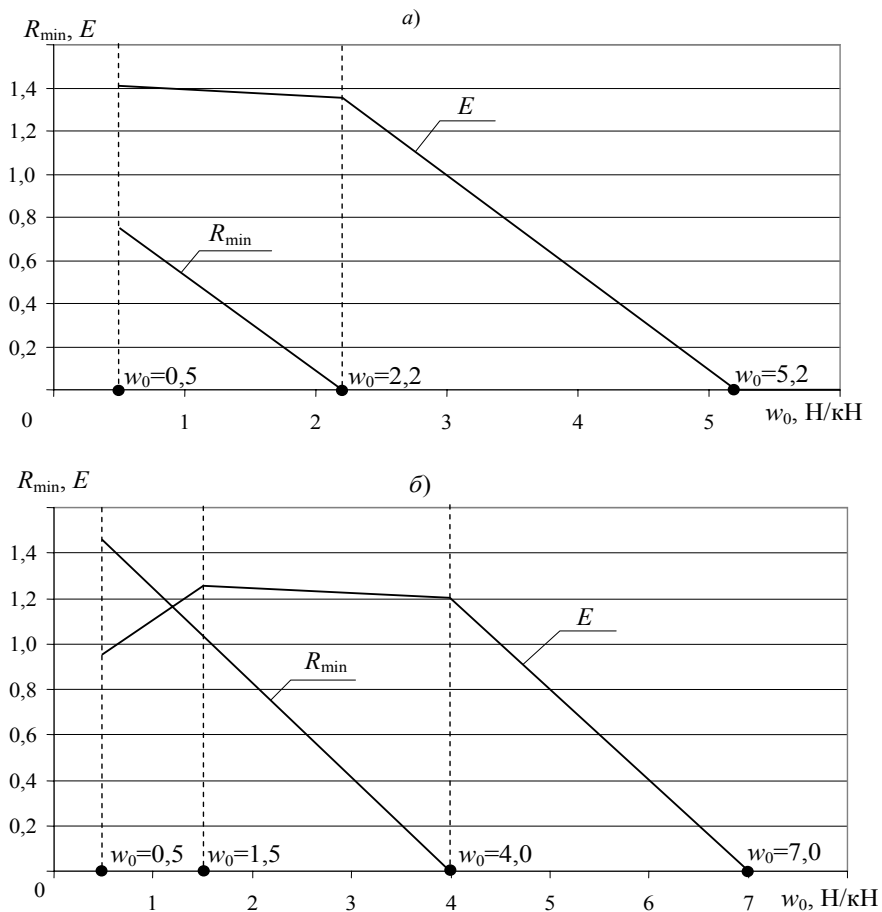


Рис. 4. Зависимости параметров ОДР от основного сопротивления движению отцепа: а – при встречном ветре; б – при попутном ветре

Как видно, при увеличении w_0 до 2,2 Н/кН расстояние R_{min} линейно уменьшается до 0. Одновременно с этим изменяется и форма ОДР – число ее вершин постепенно уменьшается 6...3; при этом ширина ОДР E уменьшается весьма незначительно.

При $w_0 = 2,2$ Н/кН величина R_{min} уменьшается до 0, а ОДР превращается в треугольник. При дальнейшем росте сопротивления ши-

рина ОДР E резко уменьшается (см. рис. 4, а) и достигает нуля при $w_0 = 5,2$ Н/кН; при этом ОДР вырождается в точку в начале координат. Такой отцеп докатывается до точки прицеливания со скоростью $v_{п} = 0$ только при отсутствии торможения на всех ТП; если же сопротивление отцепа превысит величину $w_0 = 5,2$ Н/кН, то он вообще не докатится до заданной точки прицеливания.

При достаточно сильном попутном ветре характер изменения ширины ОДР для хороших бегунов несколько изменяется (см. рис. 4, б). В этих условиях ОДР для ОХ имеет достаточно малую ширину; с ростом w_0 величина E не только не уменьшается, а достаточно интенсивно растет и достигает максимума при $w_0 = 1,5$ Н/кН, после чего характер изменения ширины ОДР полностью соответствует условиям встречного ветра (см. рис. 4, а и б).

Расстояние ОДР от начала координат R_{\min} при попутном ветре уменьшается с ростом w_0 точно так же, как и при встречном. При этом значение R_{\min} значительно выше, чем при встречном, что объясняется необходимостью увеличения степени торможения отцепов в пер-

вом случае. Уменьшение ширины ОДР для хороших бегунов ($w_0 \geq 1,1$ Н/кН) при попутном ветре вызвано ограничением (2) по минимальной скорости выхода отцепа из СТП. При этом избыточная энергетическая высота, которую невозможно в этих условиях погасить на СТП для обеспечения скорости отцепа $v_{\Pi} = 0$ в точке прицеливания, должна быть погашена на ПТП. Для отцепов, у которых $w_0 < 1,1$ Н/кН, указанную энергетическую высоту невозможно погасить и на ПТП из-за остановки отцепа, поэтому у таких отцепов скорость в точке прицеливания будет выше заданной $v_{\Pi} = 0$.

Аналогичный характер имеют зависимости параметров ОДР и от требуемой дальности скатывания отцепов (рис. 5).

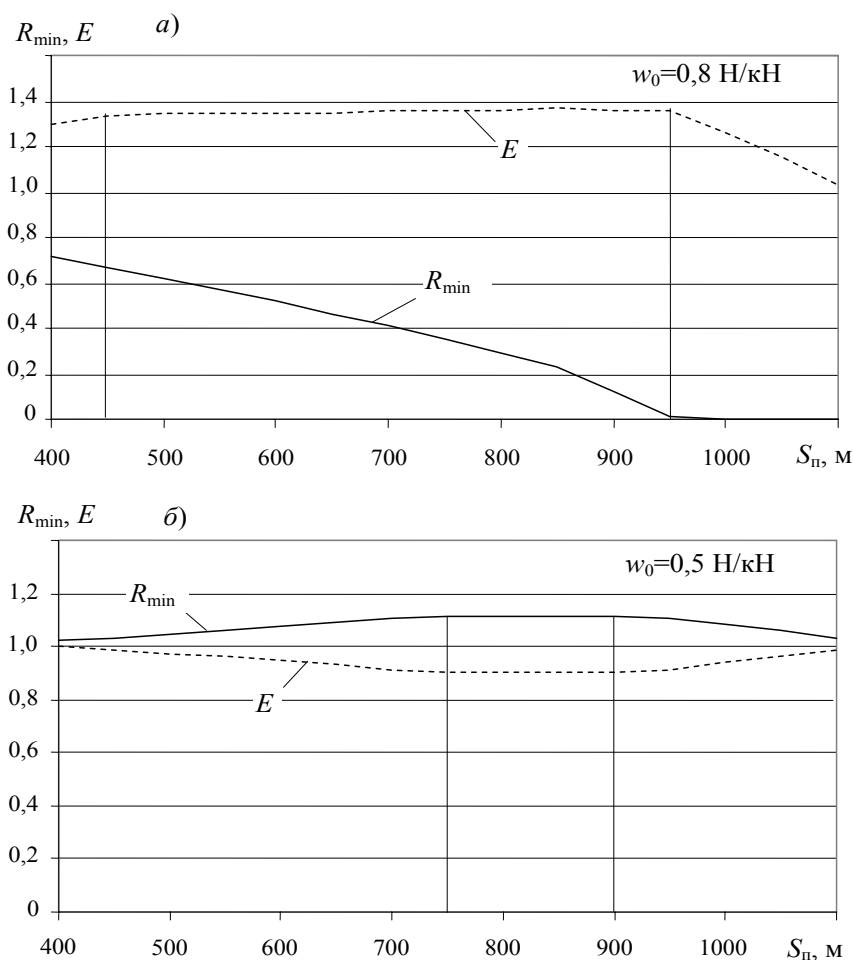


Рис. 5. Зависимости параметров ОДР от дальности скатывания отцепа:
а – при встречном ветре; б – при попутном ветре

Отцепы из нескольких вагонов в основном подчиняются тем же закономерностям, что и одиночные вагоны. При этом различия заключаются в том, что такие отцепы при одной и той же скорости ветра имеют несколько меньшее удельное сопротивление движению от среды и ветра.

В результате у таких отцепов при тех же условиях ограничение ширины ОДР по скорости u''_{\min} несколько меньше, чем у одиночных вагонов, однако, действует оно на более дальнем расстоянии. Одновременно с этим несколько медленнее уменьшается расстояние R_{\min} .

Характер изменения параметров ОДР существенно зависит и от уклона сортировочного пути. При ускоряющем уклоне ОДР может вообще не существовать; это означает, что не существует режимов торможения, при которых скорость отцепа в точке прицеливания не превысит допустимую величину.

Параметры отцепов и условия скатывания оказывают существенное влияние и на общую энергетическую высоту H_T , погашаемую всеми тормозными позициями по пути скатывания отцепа. При этом для каждого отцепа и условий его скатывания существует два значения H_T – минимальное $H_{T.min}$ и максимальное $H_{T.max}$, соответствующие двум крайним режимам торможения этого отцепа – быстрого ($H_{T.min}$) и медленного ($H_{T.max}$) скатывания.

Как показывает анализ результатов имитационного моделирования, в большинстве случаев с ростом дальности скатывания величины $H_{T.min}$ и $H_{T.max}$ уменьшаются, причем тем быстрее, чем больше сопротивление движению отцепа. Исключение составляет отцеп ОХ, скатывающийся при достаточно сильном попутном ветре ($v_{вет} = -5$ м/с). Для указанного отцепа величина H_T с ростом дальности скатывания незначительно увеличивается.

Сравнение значений $H_{T.min}$ и $H_{T.max}$ показывает, что выбор режима торможения весьма существенно влияет на величину суммарной погашаемой высоты H_T , особенно с увеличением сопротивления движению и дальности скатывания. Так, при встречном ветре сокращение погашаемой высоты при переходе от медленного к быстрому режиму скатывания составляет в среднем 30...40 %, а в отдельных случаях достигает до 70 %. При попутном ветре, а также для отцепов из нескольких вагонов указанное сокращение несколько меньше (15...30 %), хотя иногда достигает 40 и более процентов.

Указанные величины, однако, не могут служить непосредственной оценкой затрат энергии на торможение отцепа, которые зависят в основном от числа включений замедлителей при регулировании скорости скатывания отцепа [6]. В то же время погашаемая высота зависит, главным образом, от суммарной длины участка торможения отцепа замедлителями.

Оценку энергоемкости отдельных режимов торможения, принадлежащих ОДР, может дать диаграмма распределения числа замедлителей, использование которых необходимо для реализации этих режимов.

Каждый режим h , принадлежащий ОДР, может быть реализован при использовании вполне определенного числа замедлителей $K_{и.з}^j$ на j -й тормозной позиции,

$$j = 1 \dots K_{т.п},$$

где $K_{т.п}$ – общее число тормозных позиций по маршруту скатывания отцепа ($K_{и.з}^{(j)} \subset [0, K_3^{(j)}]$),

где $K_3^{(j)}$ – общее число замедлителей на j -й ТП). В этой связи ОДР Ω может быть разделена на непересекающиеся области (подмножества режимов) $\omega_1 \cup \omega_2 \dots \cup \omega_n = \Omega$; при этом каждое подмножество ω_i характеризуется списком $\{K_{и.з}^{(j)} = 0, j = 1 \dots K_{т.п}\}$ значений числа используемых замедлителей и соответствующей величиной $E_{отц}$ расхода энергии на торможение отцепа. Число возможных областей n зависит от размеров и положения ОДР в области возможных режимов торможения.

Для примера на рис. 6 показана подобная диаграмма для отцепа ОХ, скатывающегося в неблагоприятных зимних условиях на расстояние $s_{п} = 400$ м. На данной диаграмме ОДР разделена на $n = 15$ областей, для реализации режимов торможения каждой из которых используется определенное число замедлителей ВТП, СТП и ПТП, что требует соответствующих затрат электроэнергии (таблица). Как видно из приведенных данных, наименьший расход электроэнергии для реализации режимов торможения, принадлежащих ОДР, имеет место в областях 6 и 15 и составляет 0,28 кВт·ч. Следует заметить, что для реализации режимов торможения двух указанных областей используются разные замедлители горки, что приводит к существенным различиям в скорости и времени скатывания отцепа.

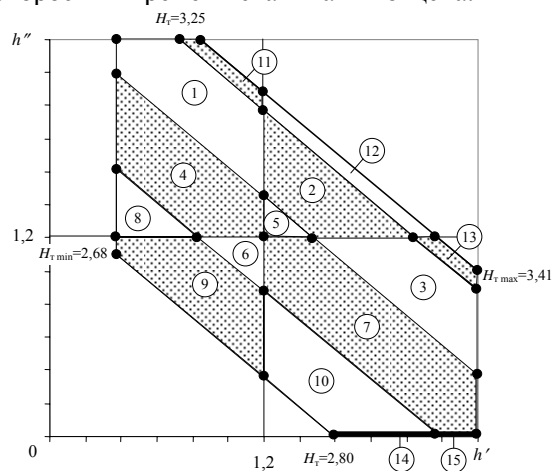


Рис. 6. Диаграмма распределения используемых замедлителей в ОДР отцепа ОХ в зимних условиях

Таблица

**Расход электроэнергии
для реализации режимов торможения ОДР
отцепов ОХ в зимних условиях**

Номер области i	Число используемых замедлителей			Расход электроэнергии $E_{опт}$, кВт·ч
	ВТП	СТП	ППП	
1	1	2	1	0,388
2	2	2	1	0,512
3	2	1	1	0,388
4	2	2	2	0,405
5	2	2	2	0,529
6	1	1	2	0,281
7	2	1	2	0,405
8	1	2	3	0,422
9	1	1	3	0,298
10	2	1	3	0,422
11	1	2	0	0,371
12	2	2	0	0,495
13	2	1	0	0,371
14	2	0	3	0,298
15	2	0	2	0,281

Максимальные затраты электроэнергии соответствуют режимам торможения, находящимся в области 5 и составляют 0,53 кВт·ч (см. табл. 1), что почти в два раза выше минимального значения.

Нужно заметить, что выбор режима торможения нельзя производить только по условиям минимизации расходов электроэнергии из-за необходимости обеспечения условий разделения отцепов на стрелках. Следовательно, выбор оптимальных режимов торможения отцепов состава представляет собой сложную неоднозначную задачу, для решения которой необходимо учитывать большое число взаимосвязанных факторов, влияющих на качество сортировочного процесса.

Таким образом, выполненные исследования позволяют однозначно определить область допустимых режимов торможения каждого отцепов

в зависимости от его параметров, условий скачивания и конструкции сортировочной горки.

Установлено также, что ОДР делится на участки с различным числом используемых замедлителей и величиной расхода электроэнергии, необходимой для реализации соответствующих режимов торможения. Полученные новые результаты необходимы для решения задачи оптимизации управления роспуском составов на сортировочных горках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебединская Е. Н. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки / Е. Н. Лебединская, Н. Н. Новгородов, Л. В. Пальчик и др. // Вестник ВНИИЖТ, – 1999. – № 3 – С. 32–34.
2. Жуковицкий И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Ч. 1. Модель системы / И. В. Жуковицкий, Г. И. Загарий, Н. И. Луханин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, – 2000. – № 5 – С. 10–15.
3. Жуковицкий И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Ч. 2. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, – 2002. – № 4 – С. 17–20.
4. Шелухин В. И. Универсальный модуль управления тормозными позициями / В. И. Шелухин, И. Н. Малышев // Автоматика, связь, информатика, – 2000. – № 5. – С. 12–14.
5. Бобровский В. И. Многошаговый двухэтапный метод оптимизации режимов роспуска составов на горках // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2004. – № 2. – С. 8–14.
6. В. П. Шейкин. Снижение расхода энергоресурсов для торможения вагонов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ, 1996. № 3, – С. 24–27.
7. Нагорный Е. В. Решение задачи по энергосбережению при торможении отцепов на сортировочных горках / Е. В. Нагорный, А. Я. Шейнин // Залізничний транспорт України, – 1998. – № 1 (4–5) – С. 70–72.
8. Бобровский В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 3. – С. 3–8.

Поступила в редколлегию 09.09.2005.

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ПІВРЕЙСІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОГО ОБСЯГУ РОБОТИ МАНЕВРОВИМИ ЛОКОМОТИВАМИ НА ПАСАЖИРСЬКІЙ СТАНЦІЇ

Розроблена методика розрахунку необхідної кількості піврейсів для виконання заданого обсягу маневрової роботи на пасажирській станції. Розрахунок кількості піврейсів проводиться на основі графіку руху поїздів та технологічних процесів роботи станції і пасажирського вагонного депо.

Проаналізовано типи маневрових піврейсів, розраховано необхідну їх кількість для конкретного маневрового району. Приведено результати дослідної поїздки, які узгоджуються з результатами розрахунку.

Разработана методика расчета необходимого количества полурейсов для выполнения заданного объема маневровой работы на пассажирской станции. Расчет количества полурейсов проводится на основании графика движения поездов и технологических процессов работы станции и пассажирского вагонного депо.

Проведен анализ типов маневровых полурейсов, рассчитано необходимое их количество для конкретного маневрового района. Приведены результаты опытной поездки, которые согласовываются с результатами расчета.

A calculation method of the number of shunting single trips for meeting the task volumes of shunting operations at a passenger station is developed. The computation of the single trips numbers is based on the train schedule and technological processes of the station and the car depot.

The types of shunting single trips are analyzed, the required numbers of shunting single trips are calculated for specific shunting areas. The results of empirical trip are represented, which are in line with the results of computation.

Маневрова робота локомотивів є одним з найбільш типових видів допоміжної роботи, яка впливає з технологічного процесу перевезень. Маневрова робота – це ланка процесу перевезень, що забезпечує формування поїздів, розставлення вагонів під розвантаження та інші види операцій по обробці составів [1].

Значним резервом скорочення витрат палива на маневрову роботу є встановлення раціональних і науково обґрунтованих норм витрати дизельного палива.

Під нормою витрати палива розуміють максимально допустиму питому їх витрату, що віднесена, залежно від призначення норми, до одиниці основної чи проміжної продукції, чи до одиниць часу, при дотриманні передової технології, забезпеченні правильної організації виробництва, хорошого технічного стану обладнання і повного його завантаження [2].

Кінцевим продуктом роботи маневрового тепловоза є розформування деякої кількості составів, що прибувають на станцію протягом певного часу [3].

У зв'язку зі складністю визначення обсягу маневрової роботи витрата палива у маневровому русі встановлюється на одиницю часу [4]. Встановлення норми витрати палива у маневровому русі на одиницю часу не повною мірою відображає енергетичні затрати на проведення

маневрів, що вимагає пошуку шляхів удосконалення існуючої методики нормування витрати палива на маневрову роботу.

Задача дослідження полягає у визначенні необхідної кількості маневрових піврейсів для здійснення усіх передбачених операцій з пасажирськими составами у маневровому районі протягом доби.

Вимірювачем обсягу маневрової роботи і продуктивності маневрових локомотивів є маневрова операція, яка може складатися з декількох приблизно однорідних маневрових переміщень, що визначають призначення даної операції.

Маневрові операції складаються з піврейсів і рейсів. Маневровим піврейсом називається переміщення локомотива з вагонами чи одного локомотива без зміни напрямку руху. Маневровий рейс – це переміщення маневрового состава чи одного локомотива з однієї колії на іншу зі зміною напрямку руху. Залежно від поєднання різних елементів і характеру зміни швидкості відомі шість типів піврейсів [1].

Для оцінки енергетичних затрат, які необхідні для здійснення піврейсів, доцільно розділити їх на такі типи:

1. Робочі піврейси – піврейси, що здійснюються з вагонами.
2. Холості піврейси – піврейси, що здійснюються без вагонів.
3. «Зайві» піврейси.

«Зайвим» будемо вважати піврейс, після якого у наступному піврейсі не змінюється напрямок руху та кількість вагонів у составі. Ці піврейси, як правило, викликані недоліками в організації маневрової роботи (не повністю підготовленими маневровими маршрутами) або непередбачуваними ситуаціями (гальмування для запобігання наїзду на людей і т. ін.). «Зайвими» можуть бути як робочі, так і холості піврейси.

Розглянемо види маневрових операцій з пасажирськими составами.

На пасажирській станції з составами пасажирських вагонів виконують такі операції:

- подача та прибирання поштових та багажних вагонів на відповідну колію (операції з поштовими та багажними вагонами);
- постановка причіпних вагонів, які слідують у прямому сполученні на місце відстою та причеплення їх до состава (операції з причіпними вагонами прямого сполучення);
- подача составів у пасажирське вагонне депо та виставлення їх на станцію (операції з составами місцевого формування);
- подача вагонів на ремонтні колії депо та прибирання вагонів з ремонтних колій (операції з вагонами, що потребують ремонту);
- миття составів (операції з составами, що потребують миття).

Маневри з пасажирськими вагонами здійснюються виключно осаджуванням, коли вагони переставляються локомотивом з однієї колії на іншу до місця зупинки [5]. Схема виконання маневрів способом осаджування наведена на рисунку.

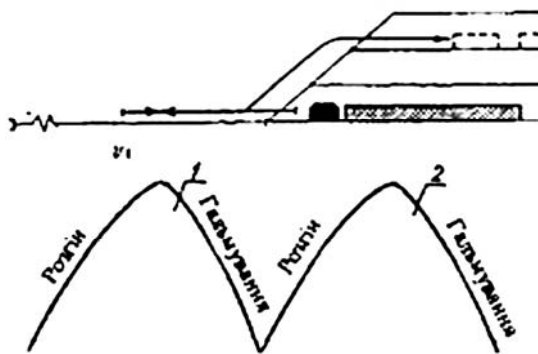


Рис. Виконання маневрів способом осаджування:
1 – піврейс витягування; 2 – піврейс осаджування

При такій організації маневрової роботи мінімальна необхідна кількість робочих піврейсів для виконання усіх перерахованих операцій визначиться за формулою

$$k^P = 4n_1 + 4n_2 + 4n_3 + 4n_4 + 4n_5, \quad (1)$$

де n_1 – кількість составів місцевого формування; n_2 – кількість груп причіпних вагонів пря-

мого сполучення; n_3 – кількість груп поштових та багажних вагонів, що вимагають переробки; n_4 – кількість вагонів, що вимагають ремонту; n_5 – кількість составів, що вимагають миття.

Мінімальна необхідна кількість холостих піврейсів, при організації маневрів способом осаджування (див. рисунок), дорівнює мінімально необхідній кількості робочих піврейсів $k^x = k^P$. Тоді загальна кількість піврейсів без врахування «зайвих», визначиться як

$$k = (4n_1 + 4n_2 + 4n_3 + 4n_4 + 4n_5)2. \quad (2)$$

При організації роботи у дві зміни, кількість піврейсів, що припадає на одну зміну, буде залежати від перерозподілу обсягу роботи між ними. Обсяг роботи, що виконаний у конкретну зміну, може бути оцінений часткою составів місцевого формування, які вимагають переробки протягом певної зміни

$$k^{3M} = \alpha \cdot k, \quad (3)$$

де α – частка составів місцевого формування у даній зміні.

Якщо у маневровому районі працює декілька локомотивів, то за умови рівномірного розподілу обсягу роботи між ними, кількість піврейсів, які необхідно здійснити одному локомотиву за зміну

$$k_{\text{лок}}^{3M} = \frac{k^{3M}}{n_{\text{лок}}}, \quad (4)$$

де $n_{\text{лок}}$ – кількість маневрових локомотивів, що працюють у даному маневровому районі.

На основі аналізу графіку руху пасажирських поїздів та технологічного процесу роботи пасажирського вагонного депо у конкретному маневровому районі отримані такі початкові дані:

- кількість составів місцевого формування $n_1 = 21$;
- кількість груп причіпних вагонів прямого сполучення $n_2 = 25$;
- кількість груп поштових та багажних вагонів, що вимагають переробки $n_3 = 19$;
- кількість вагонів, що вимагають ремонту $n_4 = 17$;
- кількість составів, що вимагають миття $n_5 = 18$;
- частка составів місцевого формування, що переробляються у дану зміну $\alpha = 0,6$;
- кількість маневрових локомотивів, що працюють у даному маневровому районі $n_{\text{лок}} = 5$.

За виразом (1) мінімальна необхідна кількість робочих піврейсів

$$k^p = 4 \cdot 21 + 4 \cdot 25 + 4 \cdot 19 + 4 \cdot 17 + 4 \cdot 18 = 400 \text{ піврейсів.}$$

Необхідна кількість холостих піврейсів дорівнює кількості робочих піврейсів

$$k^x = k^p = 400 \text{ піврейсів.}$$

Загальна кількість піврейсів за виразом (2)

$$k^p = (4 \cdot 21 + 4 \cdot 25 + 4 \cdot 19 + 4 \cdot 17 + 4 \cdot 18) \cdot 2 = 800 \text{ піврейсів.}$$

Необхідна кількість піврейсів у зміну за виразом (3)

$$k^{3M} = 0,6 \cdot 800 = 480 \text{ піврейсів.}$$

Кількість піврейсів, що припадає на один локомотив за виразом (4)

$$k_{\text{лок}}^{3M} = \frac{480}{5} = 96 \text{ піврейсів.}$$

Для практичного підтвердження отриманих теоретичних розрахунків у досліджуваному маневровому районі була проведена контрольна поїздка на тепловозі ЧМЭЗ, обладнаному бортовою системою контролю експлуатації транспортних засобів «Дельта».

Опис даної системи та параметри, які нею фіксуються, наведені [6]. Під час дослідної поїздки фіксувалися такі параметри:

- час початку руху;
- час закінчення руху;
- кількість вагонів;
- максимальна швидкість, що досягається у піврейсі;
- напрямок руху.

Фрагмент протоколу дослідної поїздки наведений у табл. 1. Результати дослідної поїздки зведені до табл. 2.

Таблиця 1

Фрагмент протоколу дослідної поїздки

№ піврейсу	Початок руху	Закінчення руху	Кількість вагонів	Максимальна швидкість	Напрямок
69	14:16:25	14:17:56	0	25	вп
70	14:18:10	14:20:37	0	30	н
71	14:24:20	14:26:45	13	5	вп
72	14:29:35	14:35:31	13	32	вп
73	14:36:23	14:42:44	13	18	вп
74	14:51:10	14:53:50	0	15	н
75	14:59:05	15:02:06	1	16	вп
76	15:02:38	15:04:48	1	12	вп
77	15:04:50	15:07:09	1	20	н
78	15:09:00	15:16:08	0	38	вп

Таблиця 2

Результати дослідної поїздки

Параметр	Абсолютне значення	Відносне значення, %
Загальна кількість піврейсів	121	100
з них холостих (без врахування зайвих)	48	39,7
робочих (без врахування зайвих)	50	41,3
зайвих холостих	5	4,1
зайвих робочих	8	6,6

Тобто кількість виконаних за зміну піврейсів (121 піврейс, з них 13 зайвих) незначно відрізняється від розрахункового значення (96 піврейсів). Причинами відхилень розрахункової кількості пів-

рейсів від теоретичної мінімальної є нерівномірний розподіл обсягу роботи між тепловозами, коливання кількості вагонів, що подаються на ремонтні колії депо та різна кількість зайвих піврейсів.

На основі графіку руху поїздів та технологічного процесу роботи станції і пасажирського вагонного депо можливо розрахувати необхідну кількість маневрових півреїсів для виконання заданого обсягу маневрової роботи на пасажирській станції.

Методика розрахунку необхідної кількості маневрових півреїсів є основою для визначення обсягу роботи, що виконується маневровим локомотивом протягом зміни, який в свою чергу є базою для встановлення науково обґрунтованої норми витрати палива на маневрову роботу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гончаров Н. Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте / Н. Е. Гончаров, В. П. Казанцев. – М.: Транспорт. 1978. – 183 с.
2. Молярчук В.С. Теоретические основы методики нормирования расхода топлива и электроэнергии для тяговых средств транспорта. – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.
3. Коссов Е. Е. Выбор характеристик магистральных и маневровых тепловозов. Повышение топливной экономичности тепловозов / Е. Е. Коссов, В. А. Старовойт // Сборник научных трудов; Под ред. А. С. Нестрахова и П. М. Егунова. – М.: Транспорт, 1991. – 128 с.
4. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів. ЦТ-0059 Затверджено Наказом Укрзалізниці № 62Ц від 5.03.2003 р. Міністерство транспорту України. Київ 2003.
5. Коментарі та роз'яснення щодо застосування положень Правил технічної експлуатації залізниць України. Спеціалізоване видання. Затверджено Наказом Укрзалізниці № 79-Ц від 05.04.2004 р. Міністерство транспорту України. Київ 2004. Укрзалізниці № 79-Ц від 05.04.2004 р. Міністерство транспорту України. Київ 2004. 408 с.
6. Болжеларський Я. В. Системи контролю експлуатації та діагностики тепловозів/ Я. В. Болжеларський О. В. Шелаковий // Вісник Східноукраїнського національного університету: Серія Транспорт. – 2001, – № 7(41). – С. 125–131.

Надійшла до редколегії 17.10.2005.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ – ФАКТИЧЕСКАЯ И ПО НОРМАТИВАМ

Наведено підсумки гальмових випробувань пасажирських потягів, облаштованих чавунними та композиційними гальмовими колодками. Вказані причини зниженої гальмової ефективності. Надані рекомендації щодо удосконалення норм та підвищення гальмової сили потягів.

Приведены результаты тормозных испытаний пассажирских поездов, оборудованных чугунными и композиционными колодками. Указаны причины снижения тормозной эффективности. Даны рекомендации по совершенствованию норм и повышению тормозной силы поездов.

The results of braking test of passenger trains equipped with cast iron and composite braking shoes have been provided; the causes of the braking efficiency decline have been stated; recommendations on improvement of the standards and increase of the train braking force have been made.

В последние годы на Белорусской железной дороге неоднократно производились испытания пассажирских поездов с чугунными и композиционными тормозными колодками на эффективность торможения. Первоначально это было связано с заметной недостаточностью тормозной мощности поездов, оборудованных чугунными колодками, при скоростях до 120 км/ч. Еще в 1994 г. приказом заместителя начальника дороги пассажирские поезда были переведены на чугунные тормозные колодки. До этого в эксплуатации находились чугунные колодки и композиционные типов 112-106 и 328-303. Колодки 112-106 (с зеленой полосой) изымались из эксплуатации.

В 2001 г. после ряда экстренных торможений особенно остро проявилась недостаточность тормозного эффекта чугунных колодок производства Ярославского электровозоремонтного и Гомельского вагоноремонтного заводов, которые использовались на Белорусской железной дороге. Это подтверждалось также многочисленными телеграфными сообщениями со стороны представителей Московской железной дороги о недостаточности тормозной силы чугунных колодок и завышении тормозных путей пассажирских поездов.

Испытания подтвердили недостаточность тормозного эффекта в поездах. В частности, испытания на перегоне Минск–Руденск показали, что расчетное нажатие на 100 т массы поезда при пневматическом торможении с начальных скоростей 95 и 70 км/ч составило 48 тс, а при электропневматическом торможении со скоростей 100 и 65 км/ч – 45 и 52 тс соответственно.

Следует учесть, что тормозились поезда без пассажиров, а тормозное оборудование вагонов

было подвергнуто специальной подготовке к испытаниям в соответствии с Инструкцией по эксплуатации тормозов. Последнее исключало возможность отклонения в состоянии тормозного оборудования от предъявляемых к нему требований и соответственно влияние этих отклонений на тормозной путь.

Полученные результаты показали, что эффективность тормозов меньше требуемой по единственному наименьшему тормозному нажатию и во многих случаях меньше допускаемого минимального тормозного нажатия по нормативам Белорусской железной дороги и дорог Укрзализныци.

В 2002 г. в новой редакции Инструкции по эксплуатации тормозов подвижного состава ЦТ-ЦВ-ЦЛ-ВНИИЖТ/277 Российских железных дорог для пассажирских поездов, движущихся со скоростями до 120 км/ч, введена норма допускаемого минимального тормозного нажатия 45 тс (в инструкциях Беларуси и Украины 55 тс на 100 т массы поезда), причем скорость должна быть ограничена до 105 км/ч.

Недостаточная эффективность чугунных тормозных колодок привела к принятию решения о переводе пассажирских вагонов собственности Белорусской железной дороги на композиционные колодки.

Оказалось, однако, что это решение не привело к повышению тормозной мощности. Наоборот, тормозной путь при композиционных колодках оказался несколько больше и, кроме того, резко возросла повреждаемость колесных пар. Например, в депо Витебск число колесных пар, выкаченных из-под вагонов, увеличилось более чем в 7 раз. Аналогичные результаты и по другим вагонным депо. Главные повреждения наблюдались по выщербинам и по наварам. Увеличилось также количество ползунов.

В целом результаты испытаний соответствовали данным, полученным при экстренных торможениях пассажирских поездов в реальных условиях. Средние расчетные нажатия на 100 т массы поезда при экстренных торможениях со скоростей 40, 70 и 100 км/ч составили соответственно при пневматическом торможении 33, 46 и 49 тс, а при электропневматическом 35, 44 и 48 тс. Как известно, эффективность композиционных тормозных колодок, по сравнению с чугунными, заметно снижается при уменьшении скорости поезда.

Одновременно было произведено взвешивание вагонов и результаты сравнены с нанесенными трафаретами. Разность по tare вагонов во многих случаях была значительной, причем, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения против фактической. Например, для отдельных вагонов, при нанесенном трафарете 52 т фактически масса вагона составила 48,15 т, а при трафарете 48 т соответственно 50,65 т. У одного вагона на разных сторонах кузова были нанесены трафареты 48 и 50 т.

Как известно, величина расчетного нажатия тормозных колодок, согласно Инструкциям по эксплуатации тормозов подвижного состава Беларуси, Украины и России, предусматривает градуировку тары пассажирского вагона 53 т и более, 48...53 т и 42...48 т. То есть расчетное (теоретическое) нажатие тормозных колодок соответствовало tare вагона как реальной, так и по трафарету.

Весьма различалась развеска тары вагона по тележкам. Разница доходила до 3,58 т при tare вагона 49,05 т (трафарет 48 т).

В то же время расчетные силы нажатия тормозных колодок были одинаковы, и параметры тормозной рычажной передачи соответствовали нормативам по tare вагона как фактической, так и по трафарету (градуировка 48...53 т), то есть плечи горизонтальных рыча-

гов при композиционных колодках составляли: $a = 230$ мм, $b = 420$ мм.

В соответствии с Инструкцией по эксплуатации тормозов одна колесная пара, с приводом подвагонного генератора, у всех вагонов была оснащена чугунными колодками, что также существенно уменьшает тормозную эффективность. Дополнительное сопротивление, создаваемое подвагонными генераторами, мало, особенно на высоких скоростях, и значительного влияния на тормозной путь не оказывает.

Отмечена разница в пневматической части вагонов. Например, у поезда, составленного из вагонов, прошедших заводской ремонт на Гомельском ВРЗ, давление в тормозных цилиндрах при экстренном торможении составляло 0,40...0,42 МПа. Соответственно различались выходы штоков тормозных цилиндров 120...147 мм. Как известно, норма выхода штока 130...160 мм. Однако приведенные данные не должны были оказать заметного влияния на длину тормозных путей, тем более в сторону их увеличения. Исключение составляет оборудование колесной пары с приводом электрогенератора чугунными колодками, что может понизить эффективность тормозов вагона на 5...8 %.

На тормозную эффективность пассажирского поезда существенное влияние оказывают тормозные средства локомотива. В связи с этим были произведены тормозные испытания одиночно следующей тяговой единицы поезда (тепловоза ТЭП-60). При нормативном расчетном нажатии 56 тс на 100 т массы тепловоза фактические средние расчетные нажатия составили 29, 39 и 47 тс при скоростях начала торможения 40, 70 и 100 км/ч соответственно.

В табл. 1 приведены результаты испытаний пассажирских поездов с чугунными и композиционными тормозными колодками, проводившихся на Белорусской железной дороге с 2001 г.

Таблица 1

Эффективность экстренных торможений

Скорость, км/ч	Вид торможения	Тип колодок	Уклон, ‰	Тормозной путь, м	Тормозной коэффициент
60	ПТ	Ч	-2,7	290	0,56
80	ПТ	Ч	1,7	500	0,55
95	ПТ	Ч	-3,1	850	0,49
100	ЭПТ	Ч	0	820	0,49
80	ЭПТ	Ч	0,4	430	0,59
60	ЭПТ	Ч	2,8	235	0,57
65	ЭПТ	Ч	-0,9	320	0,52
100	ЭПТ	Ч	2,4	820	0,45

Скорость, км/ч	Вид торможения	Тип колодок	Уклон, ‰	Тормозной путь, м	Тормозной коэффициент
95	ПТ	Ч	2,4	750	0,480
70	ПТ	Ч	-4,5	450	0,480
70	ПТ	Ч	-7,4	480	0,480
40	ПТ	К	0,1	184	0,310
40	ЭПТ	К	0,0	142	0,360
70	ПТ	К	0,0	410	0,485
70	ЭПТ	К	-2,2	380	0,494
100	ПТ	К	0,7	828	0,495
100	ЭПТ	К	1,3	802	0,477
70	ПТ	К	0,0	448	0,434
100	ПТ	К	0,0	865	0,486
70	ЭПТ	К	-1,1	470	0,380
40	ЭПТ	К	1,0	141	0,355
40	ПТ	К	1,4	166	0,340
100	ЭПТ	К	-0,7	835	0,476

Был проведен анализ химического состава чугунных тормозных колодок. Отмечены некоторые нарушения в структуре и в химическом составе чугуна. В некоторых партиях колодок отмечено завышение содержания кремния до 1,34...1,8 % против требуемого по норме 0,7...1,2 % и фосфора – до 0,78 % против максимального содержания 0,5 %. Структура чугуна неоднородна, имеет пористости.

Были также произведены теоретические исследования тормозной эффективности пассажирских поездов с учетом действительных сил нажатия и коэффициентов трения тормозных колодок и реальных параметров тормозной системы. Расчеты показали, что конструктивные характеристики рычажной передачи и регламентированные фрикционные свойства тормозных колодок различных типов не всегда позволяют обеспечить нормативную тормозную эффективность. Расчетные силы нажатия чугунных и композиционных тормозных колодок

на ось различных типов вагонов, приведенные в инструкциях, завышены. В частности, они не учитывают влияние пружин автоматических регуляторов тормозных рычажных передач на силу нажатия. При расчете обеспеченности тормозами пассажирского поезда, оборудованного композиционными колодками, не учитывается снижение тормозной эффективности из-за постановки чугунных колодок на редукторных осях и, кроме того, из-за снижения коэффициента трения применяемых в настоящее время колодок ТИИР-303 по сравнению с ранее применяемыми.

В табл. 2 приведены результаты расчетов длины тормозного пути экстренного торможения пневматическим тормозом для вагона массой 52 т. Расчеты выполнены как по нормам Правил тяговых расчетов (ПТР), так и по уточненной методике с учетом реальных параметров тормозной системы (типа используемых колодок, наличия авторегулятора со стержневым приводом и т. д.).

Таблица 2

Расчетные значения тормозного пути

Скорость, км/ч	Тормозной путь, м			
	По ПТР	ТИИР-308	ТИИР-308	Чугун
120	951	1162	1067	1035
100	651	805	743	707
80	411	516	479	445
60	231	294	276	249
40	108	138	132	115

Примечание. ТИИР-308 на редукторных осях чугунные колодки

Из табл. 2 видно, что тормозные пути при различных вариантах использования колодок (ГИИР-308, чугун) превышают расчетные значения по ПТР. Наиболее короткие тормозные пути при скоростях движения до 120 км/ч обеспечиваются чугунными колодками, что подтверждается проведенными испытаниями.

Таким образом, недостаточную тормозную эффективность пассажирских вагонов и на чугунных и на композиционных колодках нельзя полностью отнести за счет низкого качества тормозных колодок или имеющихся нарушений в устройстве тормозной рычажной передачи.

В то же время по действующим нормативам эффективность тормозов пассажирских вагонов должна быть значительно выше. При скоростях движения до 120 км/ч норма единого наименьшего нажатия тормозных колодок в пересчете на чугунные составляет 60 тс на 100 т массы поезда. Ни в одном случае при испытаниях эта величина достигнута не была.

Для повышения эффективности тормозов и совершенствования методики расчета обеспеченности пассажирского поезда тормозами следует:

1. Более четко определить нажатие тормозных колодок по развеске вагонов, установить большее число градаций тормозной рычажной передачи по длине горизонтальных рычагов и массе тары вагона.

2. Ограничить применение композиционных тормозных колодок на пассажирских вагонах при скоростях движения до 120 км/ч, хотя их износостойкость значительно выше, чем у чугунных.

3. При использовании композиционных колодок на вагонах редукторные оси оборудовать также композиционными тормозными колодками независимо от максимальных скоростей движения поезда.

4. Ввести нормы расчетных сил нажатия композиционных колодок на ось вагонов без пересчета на чугунные колодки как для пассажирских, так и для грузовых вагонов.

5. Разработать номограммы или таблицы тормозных путей для поездов, оборудованных композиционными колодками, по расчетному тормозному коэффициенту без пересчета на чугунные колодки с учетом влияния авторегулятора.

6. После капитального ремонта массу тары вагона наносить на кузов после взвешивания на весах.

7. Провести исследования и разработать мероприятия (конструктивные, технологические и организационные) по повышению тормозной эффективности пассажирских поездов.

Поступила в редколлегию 22.09.2005.

С. В. МЯМЛІН, Л. В. ДУБИНЕЦЬ, В. Т. ВИСЛОГУЗОВ, О. Г. ДУГАНОВ (ДІТ)

ЕКСПЕРТИЗА ТЕХНІЧНИХ УМОВ – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП РОЗРОБКИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ДЛЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Важливим етапом розробки та виготовлення виробів для рухомого складу є якісна експертиза проектів технічних умов ще на стадії їх розробки. У статті наведені складові частини проекту технічних умов, критерії відповідності проекту існуючим нормам, основні характерні недоліки проектів та механізм їх усунення.

Важным этапом разработки и изготовления изделий для подвижного состава является качественная экспертиза проектов технических условий еще на стадии их разработки. В статье приведены составные части проекта технических условий, критерии оценки соответствия проекта существующим нормам и правовым документам, основные характерные недостатки проектов и механизм их устранения.

An important stage of development and manufacture of the products and parts for rolling stock is a quality expertise of draft specifications at a stage of their development. The article enlists the component parts of the specifications project, the estimation criteria of the project conformity to the existing norms and legal documents, the main characteristic drawbacks of projects and a mechanism of their removal.

В останні роки значна кількість підприємств, які раніше не виготовляли обладнання для рухомого складу залізниць, почали у значних об'ємах виробляти його. Якісна експертиза технічної документації ще на стадії її розробки фахівцями, які володіють спеціальними знаннями в галузі технічних вимог до обладнання рухомого складу та його експлуатації, має велике значення з точки зору підвищення якості та експлуатаційної надійності цього обладнання. Особливо важливе проведення кваліфікованої експертизи проектів технічних умов (ТУ) для будь-якого виробу.

Як відомо складовими частинами ТУ на виріб є: технічні вимоги, вимоги безпеки та охорони довкілля, правила приймання, методи контролю, методи транспортування і збереження, вказівки щодо експлуатації, гарантії виробника. У додатках до ТУ, як правило, наводиться перелік документів, на які є посилання, перелік та технічні характеристики обладнання для здійснення контролю параметрів виробу. Тобто в ТУ відображаються основні відомості про виріб, виконання яких дозволяє забезпечити необхідну його якість при виготовленні, правильну експлуатацію.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту є головною науковою організацією Укрзалізниці по пасажирських вагонах. Його фахівцям, зокрема, доручена технічна експертиза проектів ТУ електрообладнання для пасажирських вагонів. На теперішній час в університеті накопичено значний досвід у цьому питанні. Експертизу електрообла-

днання проводять, як правило, фахівці кафедр вагонів та автоматизованого електропривода.

З 2001 р. проведено технічну експертизу більше двадцяти проектів ТУ на різні види електрообладнання для пасажирських вагонів («Комплект подвагонных ящиков» ТУ У 31.2-30430120-003-2001; «Кондиционер автономный вагонный АВК-30» ТУ У 29.2-14308032-010-2002; «Преобразователь электроэнергии ПЭВК 110/380-50» ТУ У 31.1-30550510-002-2002; «Акумулятори лужні нікель-залізні вагонні серії FL та батареї з них» ТУ У 31.4-25238174-001-2003; «Шкаф управления ТТ 110.015.00.0.000» ТУ У 31.2-30921906-002-2003; «Датчик контролю температури нагріву букс ТЗ93м» ТУ У 31.6-30219297-001-2004 та ін.).

При цьому у процесі проведення експертизи проектів ТУ встановлювались:

- відповідність ТУ чинним основоположним та загальнотехнічним національним і міждержавним стандартам;
- відповідність показників і вимог до продукції в ТУ встановленим обов'язковим вимогам державних і галузевих стандартів;
- метрологічне і термінологічне забезпечення ТУ;
- відповідність ТУ директивним документам органів державного нагляду.

Одним із основних документів при проведенні експертизи є ГСТУ 32.0.10.018-97 «Стандартизація та сертифікація на залізничному транспорті. Типова побудова технічних умов на продукцію підприємств залізничного транспорту України».

Досвід показує, що в процесі експертизи проектів ТУ у середньому робиться по 15...20 суттєвих зауважень, в основному з відповідності вимогам наказів Міністерства транспорту та зв'язку України, наказів «Укрзалізниці» щодо забезпечення роботи електрообладнання в реальних умовах його експлуатації згідно з діючими інструкціями.

Характерні недоліки проектів ТУ, які було подано на експертизу підприємствами такі:

- невказування групи виконання виробу в частині стійкості до механічних зовнішніх факторів згідно з ГОСТ 30630.0.0-99;

- неповне виконання вимог ГОСТ 15150-69 відносно дії кліматичних зовнішніх факторів, ДСТУ 2773-94 відносно рівня ізоляції, вимог до конструкції;

- неповне виконання вимог з сертифікації продукції;

- неврахування вимог галузевих нормативних документів (ДСТУ 4049-2001, керівництва ЦІ 0025, ГСТУ 32.0.08.001-97 та ін.).

Результати експертизи оформляються у вигляді акту, який направляється на підприємство, що розробило проект ТУ. Практично усі зауваження експертів після їх обговорення із розробниками проекту ТУ приймаються. Усунення недоліків, які відмічались в актах, безумовно сприяє підвищенню якості виробів. Копії актів направляються до Головного пасажирського управління «Укрзалізниці».

Досвід підтверджує, що у сучасних умовах виробництва електрообладнання для рухомого складу якісна експертиза проектів технічних умов на виробу є вкрай необхідною. Для кожного виду електрообладнання рухомого складу експертиза проектів ТУ безумовно підвищує якість виробу, закладає умови для його сертифікації. В університеті проведені також експертизи значної кількості проектів технічних завдань, програм та методик випробувань.

Кожен новий тип рухомого складу (пасажирські вагони, електровози, електропоїзди, тепловози та ін.) необхідно подавати для сертифікації за умови, що сертифіковане основне його обладнання.

Надійшла до редколегії 12.07.2005.

А. І. КУЗЬМЕНКО (Академія митної служби України)

ПРИКОРДОННІ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНІ СТАНЦІЇ У ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Розглянуто труднощі, з якими пов'язана подальша інтеграція транспортних систем України в Європейське економічне співтовариство. Пропонуються пріоритетні напрямки подальших досліджень роботи залізничних пунктів пропуску з метою скорочення терміну доставки експортно-імпортних вантажів.

Рассмотрены трудности, с которыми связана дальнейшая интеграция транспортных систем Украины в Европейское экономическое сообщество. Предлагаются приоритетные направления дальнейших исследований работы железнодорожных пунктов пропуска с целью сокращения времени доставки экспортно-импортных грузов.

This article deals with difficulties related to further integration of the transport systems of Ukraine into the European community. Priority directions of further research of rail cross-border points operation have been proposed, with the aim of cutting the time of export/import freights.

Розвиток міжнародних транспортних коридорів (МТК) визнано Урядом України [1] як пріоритетний напрямок інтеграції транспортної мережі України до європейської транспортної системи.

Сьогодні вкрай важливим є підвищення рівня сервісу і якості транспортних послуг, відповідність їх європейським стандартам. З цією метою за останні роки здійснено ряд технічних, технологічних і організаційних заходів [2], спрямованих на підвищення швидкості і скорочення строків доставки вантажів, покращення якості перевантаження, розширення переліку транспортних послуг, удосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення тощо. Але ще багато питань залишаються невирішеними.

У наукових роботах, присвячених цій проблемі, недостатньо уваги приділялося удосконаленню технології роботи прикордонних станцій. Необхідно проводити подальші дослідження з питань підвищення якості планування міжнародних перевезень [3], поліпшення взаємодії з прикордонними, митними та іншими контролюючими органами.

Для того, щоб МТК працювали і забезпечували надходження прибутків до державної казни [1], необхідно вирішити проблеми вибору раціонального способу доставки вантажів та гарантованого підвищення якості перевезень. У теперішній час раціональні способи транспортування та перевантаження вантажів розробляються на основі логістики. Логістична система (ЛС) у першу чергу передбачає реалізацію принципу «точно в термін». Цей принцип охо-

плює широкий діапазон вимог [4] залежно від виробничо-технологічного профілю ЛС, складу та якості матеріальних та інформаційних потоків, вимог виробничого характеру, структури виробничих процесів, наявності засобів механізації та автоматизації тощо. Логістична система транспортування міжнародних вантажопотоків залізничним транспортом покликана скоротити у першу чергу витрати, пов'язані з переробкою вантажів на прикордонних перевантажувальних станціях. Під час розробки таких ЛС необхідно враховувати рівень впливу випадкових збоїв у роботі транспорту на ефективність виробничих процесів, а також пропускну та перероблюючу здатність станції.

У статті виконано дослідження логістичних систем транспортування міжнародних вантажопотоків залізничним транспортом та визначено вплив обраного способу перевантаження вантажів на прикордонній перевантажувальній станції на загальний час доставки вантажів. Як відомо, термін доставки вантажів визначає сума часових характеристик усіх ланок логістичного ланцюга [4].

На рис. 1 наведена спрощена схема ЛС пересування міжнародних вантажопотоків. При цьому враховано, що залізниці сусідніх держав мають різну ширину колії. Надана схема показана у вигляді логістичного ланцюга з таких елементів: Z – місце зародження вагонопотоку (склад вантажовідправника); T' – транспортування від вантажовідправника до станції відправлення; $T_{\text{відп}}$ – простій на станції відправлення; B_{1520} – просування вантажу у вагонах колії

1 520 мм; $T_{пер}$ – простій на прикордонній перевантажувальній станції; B_{1435} – просування вантажу у вагонах колії 1435 мм; $T_{призн}$ – простій на станції призначення; T'' – транспортування від станції призначення до вантажоодержувача; Π – місце погашення вагонопотоку (склад вантажоодержувача).

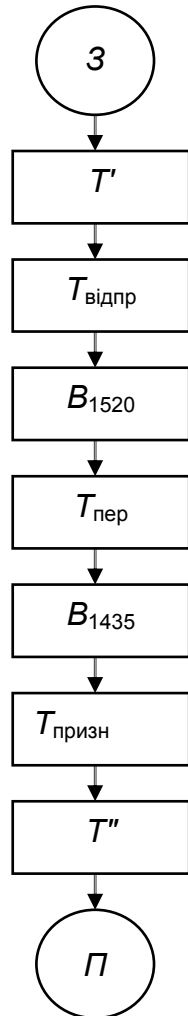


Рис. 1. Логістичний ланцюг елементів пересування міжнародних вантажопотоків залізничним транспортом

Для розглядуваної схеми просування вантажопотоків термін доставки T_d визначається таким чином:

$$T_d = \sum_1^k t_3 + \sum_1^m t'_T + \sum_1^l t_{відпр} + \sum_1^p t_{1520} + \sum_1^s t_{пер} + \sum_1^c t_{1435} + \sum_1^x t_{призн} + \sum_1^g t''_T + \sum_1^z t_{\Pi}, \quad (1)$$

де $\sum_1^k t_3$, $\sum_1^z t_{\Pi}$ – сума простоїв продукції у пунктах зародження та погашення вантажопотоків;

$\sum_1^m t'_T$, $\sum_1^g t''_T$ – сумарний час доставки вантажу від складу вантажовідправника до станції призначення та від станції призначення до складу вантажоодержувача;

$\sum_1^l t_{відпр}$, $\sum_1^s t_{пер}$, $\sum_1^x t_{призн}$ – сумарний час знаходження вантажу на станціях відправлення, перевантаження та призначення;

$\sum_1^p t_{1520}$, $\sum_1^c t_{1435}$ – сумарний час транспортування вантажів у вагонах широкої та вузької колії відповідно.

Прикордонні перевантажувальні станції необхідно розглядати як вагому ланку у ланцюжку доставки вантажів від відправника до одержувача, яка визначає часову складову усієї ЛС. За статистичними даними у 2004 році середній час знаходження на прикордонній станції вантажного транзитного поїзда склав 11,7 год [2], а пасажирського – 3,5 год [5]. Тому на сьогодні першочерговою є задача скорочення простоїв залізничних вагонів на кордоні. Одним з можливих рішень цієї проблеми є впровадження на Львівській залізниці технології автоматично розсувних колісних пар. При цьому зміна ширини колії виконується у русі із швидкістю 15...40 км/год [5].

На сьогоднішній день перевалка вантажів з вагонів однієї колії на іншу здебільшого здійснюється за допомогою навантажувально-розвантажувальних механізмів (НРМ) на спеціально обладнаних перевантажувальних фронтах. Для деяких категорій вантажів використовується безперевантажувальна технологія, яка передбачає заміну візків.

На рис. 2 зображено розгалуження міжнародних вантажопотоків під час знаходження їх на прикордонній перевантажувальній станції залежно від обраного способу переходу з колії однієї ширини на іншу. Варто також звернути увагу на той факт, що іноді вантажі перевантажуються не за прямим варіантом, з одного вагона в інший, а затримуються на певний час на складі. Причини можуть бути різними (відсутність порожніх вагонів під перевантаження, комерційний брак, відсутність документів або неправильне їх оформлення, затримка за підсу-

мками митних операцій тощо), але усі вони негативно впливають на логістичний ланцюг в цілому, збільшуючи час знаходження вантажу на прикордонній станції.

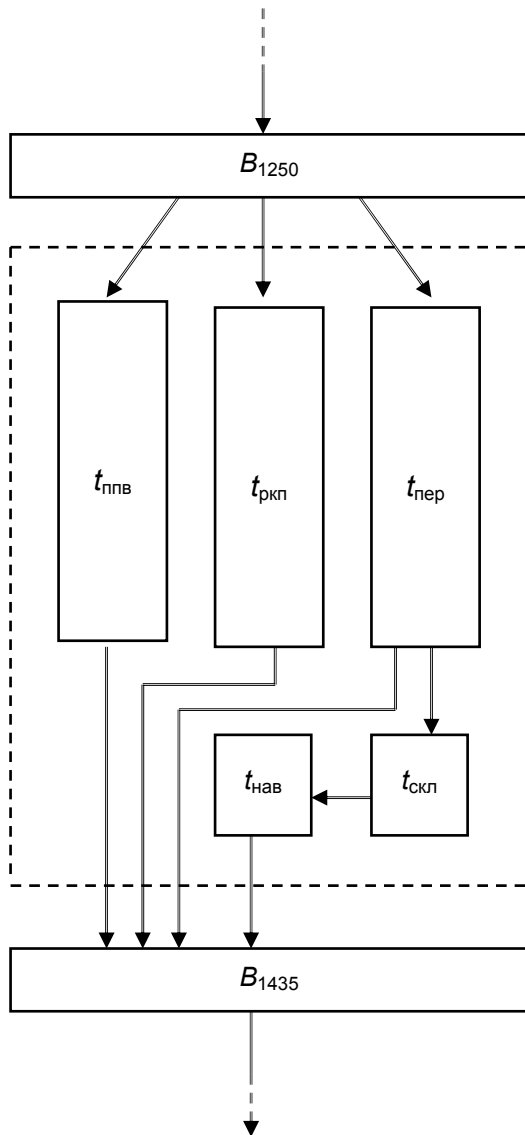


Рис. 2. Схема розгалуження логістичного ланцюга елементів пересування міжнародних вантажопотоків під час знаходження їх на перевантажувальній станції

Сумарний час знаходження вантажопотоків на прикордонній перевантажувальній станції складається з таких елементів:

$$\sum_1^s t_{пер} = \sum_1^a t_{пп} + \sum_1^b t_{сп} + \alpha \sum_1^f t_{ппв} + \beta \sum_1^q t_{ркп} + \gamma \left[\mu \sum_1^r t'_{пер} + \varphi \left(\sum_1^e t''_{пер} + \sum_1^u t_{скл} + \sum_1^y t_{нав} \right) \right] + \sum_1^d t_{пв}, \quad (2)$$

де $\sum_1^a t_{пп}$ – час знаходження вагонів з вантажем у парку приймання;

$\sum_1^b t_{сп}$ – час знаходження вагонів з вантажем у сортувальному парку;

$\sum_1^b t_{пв}$ – час знаходження вагонів з вантажем у парку відправлення;

$\sum_1^f t_{ппв}$ – час знаходження вагонів з вантажем у пункті перестановки візків (ППВ);

$\sum_1^q t_{ркп}$ – час знаходження вагонів з вантажем у пункті розсуву колісних пар (ПРКП);

$\sum_1^r t'_{пер}$, $\sum_1^e t''_{пер}$ – час перевантаження вантажу відповідно у вагони іншої колії або на склад;

$\sum_1^u t_{скл}$ – час знаходження вантажу на складі;

$\sum_1^y t_{нав}$ – час перевантаження вантажу із складу у вагони; α – частка вагонів, з якими виконують перестановку візків; β – частка вагонів з розсувними колісними парами; γ – частка вагонів, з яких вантажі перевантажуються у вагони колії іншої ширини на перевантажувальних фронтах.

У свою чергу, вагони, що потрапляють на перевантажувальні fronti, поділяються на ті, які перевантажуються за прямим варіантом (з вагона у вагон) та ті, що деякий час зберігаються на складі. Частки таких вагонів складатимуть відповідно μ та φ . Для часток вагонів будуть справедливими такі припущення:

$$0 \leq \alpha \leq 1; \quad 0 \leq \beta \leq 1; \quad 0 \leq \gamma \leq 1;$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1; \quad 0 \leq \mu \leq 1; \quad 0 \leq \varphi \leq 1; \quad \mu + \varphi = 1.$$

У формулі (2) літерами $a, b, f, q, r, e, u, y, d$ позначена кількість окремих операцій, за якими розраховуються витрати часу для відповідних елементів логістичного ланцюга. Так, наприклад, $\sum_1^a t_{пп}$ складається з операцій підготовки маршруту приймання, виходу відповідних працівників на колію приймання, закріплення по-

їзда, відчіпки поїзного локомотива та причіпки маневрового, обробки документів у СТЦ, технічного та комерційного огляду поїзда, митних операцій, операцій по здійсненню прикордонного, карантинного, ветеринарного, екологічного та інших видів державного контролю згідно з прийнятою технологією, розпуску поїзда по сортувальних коліях відповідно до сортувального листа тощо.

$\sum_1^f t_{\text{ппв}}$ залежить від техно-

логії роботи ППВ, кількості колій перестановки, оснащеності спеціальними технічними засобами та їх продуктивності, ступеня автоматизації процесу перестановки і т. д. Він складається з операцій, що передбачені технологічним процесом його роботи, так само, як і

наступний елемент $\sum_1^q t_{\text{ркп}}$, що залежить від

потужності технічних засобів та пропускної здатності ПРКП. Такі ланки логістичного ланцюга, як $\sum_1^r t'_{\text{пер}}$, $\sum_1^e t''_{\text{пер}}$, $\sum_1^y t_{\text{нав}}$ складаються з

комплексу операцій, що виконуються під час перевантаження вантажу з вагона у вагон, з вагона на склад або зі складу у вагон. Вони залежать від типу, кількості та продуктивності НРМ, типу та обсягів вантажів, що перевантажуються, типу складів та рухомого складу, чисельності штату робітників, прийнятої технології та ін. Складові цього елемента поділяються на основні (пересування вантажу, штабелювання і т. д.) та додаткові (строповка, розстановка

у вагоні тощо). $\sum_1^u t_{\text{скл}}$ залежить від типу ван-

тажу, умов зберігання, а також причин, які викликали складування і складається з операцій, пов'язаних із забезпеченням збереженості ван-

тажу. Такий елемент, як $\sum_1^b t_{\text{сп}}$ характеризується

витратами часу на насув та розпуск поїзда, ліквідацію «вікон», осаджування, виконання маневрових рейсів з перестановки на перевантажувальні фронти тощо та залежить від швидкості виконання цих процесів, кількості відчіпів у поїзді, кількості сортувальних колій, довжини маневрових рейсів та маневрових валок, кількості маневрових локомотивів, технології ви-

конання робіт і т. д. Елемент $\sum_1^d t_{\text{пв}}$ враховує

витрати часу на зформування поїзда згідно з планом формування та вимог ПТЕ, проведення технічного, комерційного та прикордонного огляду, виконання митних операцій, огляду представниками сусідньої держави, проведення різних видів державного контролю згідно з прийнятою технологією та чинною документацією, операцій з документами, заміни маневрового локомотива на поїзний, приготування маршруту відправлення тощо.

У формулу (2) як окремі елементи можуть входити витрати часу на маневрові пересування між станційними пристроями. Вони залежать від типу маневрового локомотива, кількості вагонів у маневровому поїзді, довжини рейсів та півреїсів, швидкості руху тощо та обумовлюються конкретними місцевими умовами. Кожен з елементів логістичного ланцюга може також мати часові витрати на міжопераційні простой, які витікають з прийнятої технології роботи станції.

Таким чином, виконаний аналіз кожної складової дозволив виявити реальні резерви часу, за рахунок яких можливо скоротити простой вагонів з експортно-імпортними вантажами на перевантажувальній станції. Для реалізації результатів дослідження необхідно здійснити технічне переоснащення залізничних переходів та прикордонних станцій, впровадження нових технологій роботи з метою поліпшення умов та підвищення продуктивності праці людей, задіяних у транспортному процесі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Акуленко А. А. Застосування нормативів ЄС на українських напрямках міжнародних транспортних коридорів // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 5.
2. Безуглий П. В. Оптимізація процесу перевезень експортно-імпортних вантажів // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 4.
3. Сеньков В. Все дороги ведуть в Європу // Весь транспорт. – 2004. – № 7, 8.
4. Литвиненко В. П. Разработка методов рациональной транспортировки и перегрузки грузов / Литвиненко В. П., Ковалев В. А. // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 5.
5. Пресс-служба МТУ. Долгий путь в Европу // Весь транспорт. – 2003. – № 3.

Надійшла до редколегії 12.07.2005.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПЕРИОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЭД

Розглядається задача визначення раціональних періодів відновлення ізоляції котушок збудження ТЕД на основі прогнозування надійності, спираючись на стохастичні методи.

Рассматривается задача определения рациональных периодов восстановления изоляции катушек возбуждения ТЭД на основе прогнозирования надежности, опираясь на стохастические методы.

The article considers the task of determining the rational timing for renewal of the excitation spools insulation in tractive electric motors on the basis of prognosticating the reliability, stochastic methods being used as the reference point.

Вопросы прогнозирования износных отказов и рационального содержания технических объектов рассматривались в работах К. Н. Войнова (механические системы), А. С. Гальперина и И. В. Шипкова (объекты машиностроения), Б. Е. Боднаря (гидравлические системы), А. И. Брейда, В. А. Овсянникова, Р. Ш. Ягудина, В. В. Сапожникова и В. В. Сапожникова, В. W. Johnson's (системы железнодорожной автоматики и цифровые устройства). Фундаментально теоретические вопросы содержания технических объектов рассмотрены Б. В. Гнеденко и А. А. Босовым.

Целью данной работы является разработка постановки задачи расчета плановых восстановлений изоляции катушек возбуждения ТЭД, принимая в качестве показателя износа изоляции возвратное напряжение.

В качестве показателя износа изоляции катушки возбуждения ТЭД примем величину максимального значения возвратного напряжения $v(t)$ (далее возвратное напряжение), t – наработка [1].

Износ большинства технических объектов (металлические детали, пластмассовые детали и т. п.) в эксплуатации носит нелинейный характер [2]. Если построить графическую зависимость износ-наработка, кривая, содержащая участки, отвечающие приработке и нормальному изнашиванию, по внешнему виду часто напоминает параболу. Полагаем, что функция износа изоляции квадратичная. Возможно и линейное приближение износа изоляции от наработки.

Максимальную величину возвратного напряжения будем рассматривать как случайную величину для любого момента наработки t , а совокупность значений возвратного на-

пряжения – как случайный процесс $V(t)$. Реализацией случайного процесса $v(t)$ является функция возвратного напряжения для конкретной катушки конкретного двигателя конкретного локомотива.

В сечении случайного процесса считаем, что случайная величина (возвратное напряжение) имеет нормальный закон распределения.

Изоляцию катушки рассматриваем как систему с постепенными отказами (износные отказы) [2; 3]. При построении дифференциальной функции распределения износных отказов изоляции полагаем, что известен закон распределения возвратного напряжения в зависимости от наработки. Поскольку эта задача трудновыполнима, то необходимо построить дифференциальные функции распределения возвратного напряжения (закон распределения полагается нормальным) для следующих моментов наработки:

- изоляция новая (момент наработки T_0);
- катушка пришла в ремонт 1-й раз (момент наработки T_1);
- катушка прошла 1-е восстановление (момент наработки T_1);
- катушка пришла в ремонт 2-й раз (момент наработки T_2);
- катушка прошла 2-е восстановление (момент наработки T_2);
- катушка пришла в ремонт последний раз (списывание, момент наработки T_k).

Моменты наработки T_0, T_1, \dots, T_k , соответствующие пунктам А–К, назовем технологическими моментами контроля и восстановления изоляции.

Период времени, соответствующий промежутку между технологическим моментом восстановления T_i и технологическим моментом контроля (поступления в ремонт) T_{i+1} , назовем $i+1$ -м периодом наработки ΔT_{i+1} , $\Delta T_{i+1} = T_{i+1} - T_i$, $i = 1 \dots k-1$.

Введем понятие удельной стоимости восстановления изоляции до первого отказа за k периодов наработки. Общая стоимость восстановления включает: стоимость новой катушки W_0 , стоимость 1-го восстановления W_1 , стоимость 2-го восстановления W_2 , ..., стоимость $k-1$ -го восстановления W_{k-1} , стоимость списания $W_c = W_k$

$$W = W_0 + W_1 + \dots + W_{k-1} + W_c.$$

Удельную стоимость восстановления изоляции до первого отказа определим как отношение общих затрат на восстановление к величине наработки до первого отказа T

$$w = \frac{W}{T}. \quad (1)$$

Стоимости восстановлений W_1, \dots, W_{k-1} примем одинаковыми и равными W_B , не изменяющимися в зависимости от наработки, тогда

$$w = \frac{W_0 + (k-1)W_B + W_c}{T}. \quad (2)$$

Естественным требованием построения программы восстановления является минимум удельной стоимости восстановления изоляции до первого отказа.

Задачу определения рациональных периодов восстановления изоляции катушек возбуждения ТЭД можно сформулировать так. Пусть известны: математическое ожидание износа изоляции $m_v(t)$, задающего средний темп изменения возвратного напряжения; среднее квадратическое отклонение $\sigma_v(t)$, характеризующее степень рассеивания изменения возвратного напряжения в течение наработки; предельный допуск значения возвратного напряжения \tilde{V} ; количество периодов наработки k . Необходимо определить такие периоды восстановления (периоды наработки) $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_k$, чтобы удельная стоимость восстановления до первого отказа w была минимальной. При этом значение функции изменения среднего темпа изменения возвратного напряжения для наработки в конце пробега

$$T_k = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_k \quad (3)$$

равнялось допуску возвратного напряжения \tilde{V} , т. е.

$$\min_{\{\Delta T_i\}_{i=1}^k} w \quad (4)$$

$$m_v(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_k) = \tilde{V}, \quad (5)$$

$$\Delta T_i > 0, \quad i = 1, \dots, k. \quad (6)$$

Поскольку числитель выражения (2) величина постоянная, то исходная задача (4)–(6) эквивалентна следующей. Для известного количества периодов наработки (периодов восстановления) k и известных из опыта зависимостей $m_v(t)$, $\sigma_v(t)$, допуска \tilde{V} необходимо определить такие периоды восстановления $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_k$, чтобы средняя наработка до первого отказа T была максимальной и при этом значение функции изменения среднего темпа возвратного напряжения для наработки в конце пробега T_k равнялась допуску возвратного напряжения

$$\max_{\{\Delta T_i\}_{i=1}^k} T = \int_0^{\infty} \tau \varphi(\tau) d\tau, \quad (7)$$

$$m_v(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_k) = \tilde{V}, \quad (8)$$

$$\Delta T_i > 0, \quad i = 1, \dots, k. \quad (9)$$

Задача (4)–(6) как и (7)–(9) является задачей оптимизации на условный экстремум. Для обеспечения существования решения задач (4)–(6) и (7)–(9) изменим неравенства (6) и (9), а именно, введем в каждое из них малую положительную величину наработки $\varepsilon > 0$, что не ухудшит качество решения для рассматриваемой задачи в инженерном смысле, т. е.

$$\Delta T_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, k.$$

Сформулируем основные предположения, касающиеся постановки исходной задачи. При оценке вероятности безотказной работы по причине износа учитываем:

- рассеивание исходного качества изоляции новой или восстановленной обмотки катушки подчиняется определенному закону распределения (например, нормальному);
- нелинейный характер износа качества изоляции – возвратного напряжения, для которого рассеивание темпа износа изоляционного материала растет по мере увеличения периода наработки;
- изменения эффективности работы других элементов катушки на вероятность безотказной работы в процессе эксплуатации не влияют.

При изготовлении или восстановлении материала изоляции в расчетах должно учитываться рассеивание исходного качества.

Функция $\varphi(t)$ в выражении (7) есть дифференциальная функция распределения износных отказов изоляции катушки возбуждения ТЭД. Функция $\varphi(t)$ строится по известным зависимостям математического ожидания износа $m_v(t)$ (уравнение износа изоляции, отвечающее среднему ожидаемому темпу изнашивания), среднеквадратического отклонения $\sigma_v(t)$ (или в данном случае уравнение, характеризующее степень рассеивания параметра в течение наработки), предельного допуска на износ \tilde{V} . Для нормального закона распределения уход свойств качества изоляции (напомним, что в нашем случае показатель качества это зависимость величины максимального значения возвратного напряжения обмотки от наработки) определяется формулой плотности распределения наработки до отказа [5]

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left| \left[\frac{\tilde{V} - m_v(t)}{\sigma_v(t)} \right]' \right| \exp \left\{ - \frac{[\tilde{V} - m_v(t)]^2}{2\sigma_v^2(t)} \right\} \quad (10)$$

Значение предельного допуска по износу изоляции \tilde{V} (нижнее предельное значение возвратного напряжения), вообще говоря, является «плавающим» (выбирается по воле обслуживающего персонала), так как оно должно учитывать рассеивание исходного качества изоляционного материала при изготовлении или восстановлении. Расчет вероятности безотказной работы производим по формуле

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t \varphi(\tau) d\tau,$$

где $Q(t)$ – вероятность отказа.

Относительно функций $m_v(t)$ и $\sigma_v(t)$ в выражении (10) заметим следующее. Как функция $m_v(t)$, так и $\sigma_v(t)$ в общем случае являются кусочно-непрерывными и представляются в виде:

$$m_v(t) = \begin{cases} m_v^1(t), & T_0 \leq t \leq T_1, \\ m_v^2(t), & T_1 \leq t \leq T_2, \\ \dots \\ m_v^k(t), & T_{k-1} \leq t \leq T_k; \end{cases}$$

$$\sigma_v(t) = \begin{cases} \sigma_v^1(t), & T_0 \leq t \leq T_1, \\ \sigma_v^2(t), & T_1 \leq t \leq T_2, \\ \dots \\ \sigma_v^k(t), & T_{k-1} \leq t \leq T_k. \end{cases}$$

Функции $m_v^i(t)$ и $\sigma_v^i(t)$ определяются из статистических наблюдений (для конкретного локомотивного депо) для всех периодов наработки ΔT_i , $i=1, \dots, k$ и являются непрерывными. В проводимом исследовании для функций $m_v^i(t)$ была выбрана квадратичная зависимость, а для функций $\sigma_v^i(t)$ использовалась линейная и $\sigma_v^i(t) = \text{const}$.

При решении задачи (7)–(9) используется численное интегрирование несобственного интеграла (7). Для построения вычислительной схемы можно прибегнуть к методу [7], но могут быть использованы специальные средства популярных математических пакетов, например Maple [8]. Учитывая тот факт, что функция $m_v(t)$ в общем случае имеет разрывы первого рода, решение задачи (7)–(9) проводится хорошо зарекомендовавшим себя методом Нелдера-Мида [9].

Выводы

В качестве показателя износа изоляции может служить возвратное напряжение.

Система содержания изоляции определяется функцией математического ожидания возвратного напряжения $m_v(t)$ – отвечающей среднему ожидаемому темпу изнашивания, функцией среднеквадратического отклонения возвратного напряжения $\sigma_v(t)$ – характеризующей степень рассеивания параметра в течение наработки, предельного допуска на износ \tilde{V} – выбираемого по воле обслуживающего персонала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серебряков А. С. Оценка состояния корпусной изоляции тяговых двигателей // Железнодорожный транспорт. – 1999. – № 12. – С. 25–27.
2. Войнов К. Н. Опыт оценки надежности механических систем. ЛДНТП. – 1975. – 37с.
3. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. – М.: «Энергия». – 1966. – 232 с.
4. Бугров Я. С. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии / Я. С. Бугров, С. М. Никольский. – М: Наука. – 1988. – 224 с.
5. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука. – 1965. – 524 с.
6. Пугачев В. С. Введение в теорию вероятностей. – М.: Наука, 1968. – 368 с.
7. Березин И. С. Методы вычислений / И. С. Березин, Н. П. Жидков. – Т.1. – М.: Наука. – 1966. – С. 242–247.
8. Говорухин В. Н. Введение в Maple V. Математический пакет для всех. – М.: Мир. – 1997.
9. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 536 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2005.

М. І. МАЛЬКОВ, О. М. ГАВРИШ, М. Ф. ФЕСЕНКО, В. В. СИТИК (В/Ч Т 0100),
С. О. ЯКОВЛЄВ (ДІПТ)

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО РОЗВИТКУ ПАРКУ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН

Розглянуто напрямки технічного розвитку і оснащення Державної спеціальної служби транспорту сучасними технічними засобами, а також напрямки розв'язання задачі формування парку будівельних машин шляхом використання середніх значень параметрів, які характеризують роботу цих машин.

Рассмотрены направления технического развития и оснащения Государственной специальной службы транспорта современными техническими средствами, а также направления решения задачи формирования парка строительных машин путем использования средних значений параметров, которые характеризуют работу этих машин.

The article considers directions of technical development and provision of the State Special Transport Service with the new, modern technical equipment and also the directions of solving the task of formation of building machinery stock by the use of the mean values of parameters, which characterize the operation of these machines.

Технічні засоби структурних підрозділів Державної спеціальної служби транспорту, середній вік яких перевищив 15-річний рубіж, становлять 70 % їх загальної кількості, але цей показник не повинен бути більшим за 10...15 %.

Адміністрація Держспецтрансслужби закінчила розроблення проекту Програми формування та розвитку Державної спеціальної служби транспорту до 2015 року, складовою частиною якої є розвиток озброєння служби. Необхідність розвитку озброєння Держспецтрансслужби зумовлюється тим, що в даний час її об'єднані та окремі загони не повністю забезпечені сучасною технікою.

Розглянути напрямки технічного розвитку, оснащення Держспецтрансслужби новими сучасними землерийними, ланкозбиральними, укладальними та баластувальними засобами, копровими агрегатами та мобільними ремонтними комплексами; напрямки розв'язання задачі формування парку будівельних машин шляхом використання середніх значень параметрів, які характеризують роботу будівельних машин, виявити застарілі та рівноцінні машини.

Задача керування складом парку машин полягає у визначенні оптимального поповнення з урахуванням зміни програми робіт, списання старих машин і можливостей придбання нових протягом планованого відрізка часу. Задачу формування нового парку можна розглядати як окремий випадок задачі знаходження його оптимального поповнення,

коли кількість машин кожного типорозміру, що знаходяться в парку, дорівнює нулю.

Для порівняння двох або декількох конкуруючих варіантів механізації і вибору найкращого пропонується використовувати функцію зведених витрат

$$П_{3,0} = И + ЛХ, \quad (1)$$

де $П_{3,0}$ – розмір зведених витрат, розрахований на одиницю обсягу робіт на об'єкті; $И$ – частина зведених витрат (питомих або об'єктних), що припадає на весь обсяг робіт на об'єкті, не залежить від $Х$ і визначається тільки способом механізації (типорозміром застосовуваних машин, складом комплексу машин тощо); $Х$ – значення відповідного перемінного фактора; $Л$ – частина зведених витрат (питомих або об'єктних), що залежить від способу механізації і припадає на одиницю величини перемінного фактора $Х$.

Витрати j -ї будівельної машини при виконанні роботи обсягом W можна визначити, використовуючи функцію зведених витрат

$$П_{3,y} = R_{c,j} + R_{w,j}W. \quad (2)$$

Постійні витрати на одне перебазування $R_{c,j}$ і постійні витрати на одиницю виміру виконуваних робіт $R_{w,j}$ є основними характеристиками будівельної машини, що визначають основні показники її роботи.

Порівняльну оцінку j -ї машини з іншими машинами робимо в такий спосіб. Через точку m_j проведемо прямі, перпендикулярні осям R_w і R_c (рис. 1). Ці прямі розбивають простір критеріїв S на чотири взаємно непересічні простори.

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \{m: R_c \geq R_{c,j} \wedge R_w \geq R_{w,j}\}, \\ S_2 &= \{m: R_c \geq R_{c,j} \wedge R_w < R_{w,j}\}, \\ S_3 &= \{m: R_c < R_{c,j} \wedge R_w < R_{w,j}\}, \\ S_4 &= \{m: R_c < R_{c,j} \wedge R_w > R_{w,j}\}, \\ S_3 &= S / (S_1 \cup S_2 \cup S_4). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

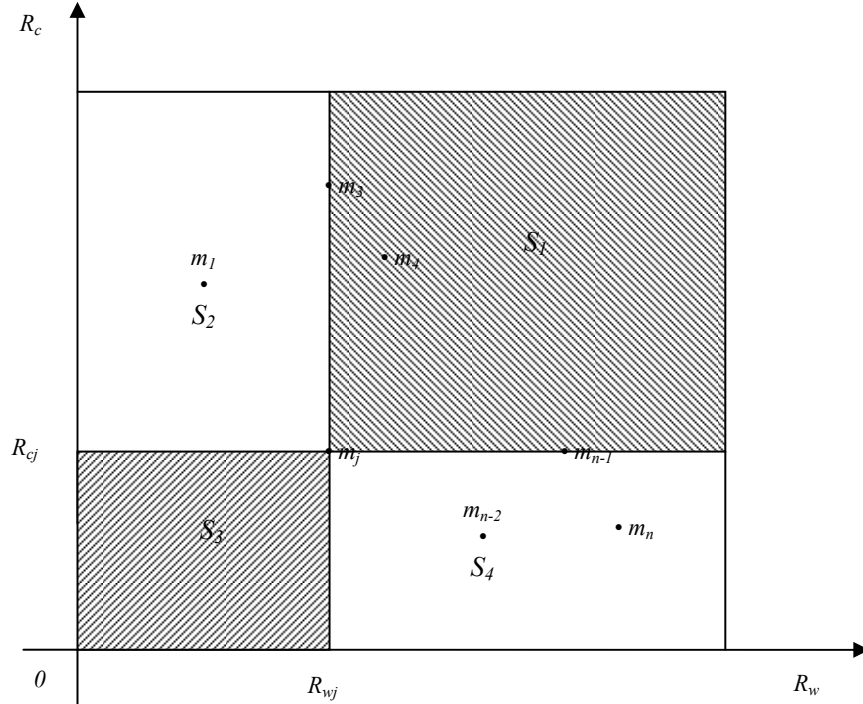


Рис. 1. Простір характеристик будівельних машин

Кожна точка простору критеріїв для порівняної машини лежить в одному з чотирьох зазначених підпросторів. Якщо вона лежить у просторі S_1 , то можливі два випадки:

1. Її координати збігаються з координатами R_{wj} , R_{cj} , тобто машини є рівноцінними. Виконання ними будь-яких обсягів робіт приводить до рівних витрат, тому надалі передбачається, що зазначені машини поєднуються в один клас.

2. Хоча б одна з координат не збігається з координатами m_j точки. У цьому випадку розглянута машина є гіршою в порівнянні з j -ю. Виконання нею будь-якого обсягу робіт призводить до великих витрат (наприклад, точки m_3 , m_4 , m_{n-1}).

Якщо точка простору критеріїв для порівняної машини належить підпросторові S_3 , то j -та машина є застарілою.

Машини, точка яких у просторі критеріїв належить відкритим просторам S_2 або S_4 , не підлягають порівнянню в силу особливостей багатокритерійної задачі. Використовуючи дану процедуру порівняння, у просторі критеріїв

можна виділити безліч точок, кожна з яких характеризується тим, що не має стосовно себе точок, що належать підпросторові S_3 . Вони утворюють множину Парето.

Таким чином, парк доцільно комплектувати машинами, показники яких у просторі критеріїв утворюють множину Парето. Однак не всі машини цієї безлічі підходять для комплектації парку в сенсі існування інтервалів робіт, у межах яких кожна з машин має найкращі показники функціонування. Покажемо це.

На початку виберемо машину з мінімальним значенням показника R_w . Значення параметрів R_c і R_w для цієї машини позначимо через R_{c1} і R_{w1} .

Відповідно до властивостей точок множини Парето, точки, що відповідають іншим машинам, будуть лежати в підпросторі S_4 по відношенню до обраної, тобто для будь-якої машини j справедлива система нерівностей

$$\left\{ \begin{aligned} R_{c1} &> R_{cj}, \\ R_{w1} &< R_{wj}. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

З машин, що залишилися, виберемо машину з найменшим значенням параметра R_w , позначивши координати її точки в просторі критеріїв через R_{c2} і R_{w2} . Відповідно до системи (4) запишемо

$$\begin{cases} R_{c1} > R_{c2}, \\ R_{w1} < R_{w2}. \end{cases} \quad (5)$$

Знайдемо обсяг робіт, за яких зведені витрати на їхнє виконання для першої і другої машини будуть однакові. Для цього необхідно вирішити систему рівнянь

$$\begin{cases} \Pi_{3y} = R_{c1} + R_{w1}W, \\ \Pi_{3y} = R_{c2} + R_{w2}W, \end{cases} \quad (6)$$

щодо параметра W . З огляду на систему нерівностей (4), дійдемо висновку, що визначник системи лінійних рівнянь (6)

$$\begin{vmatrix} 1 - R_{w1} \\ 1 - R_{w2} \end{vmatrix} \quad (7)$$

відмінний від нуля. Отже, ця система має єдине рішення.

Оскільки

$$R_{c1} > 0, R_{c2} > 0, R_{w1} > 0, R_{w2} > 0,$$

з огляду на систему (4) дійдемо висновку, що геометрична інтерпретація розв'язання задачі про перебування оптимальних меж виконуваних робіт для кожного типорозміру машин буде мати вигляд, показаний на рис. 2.

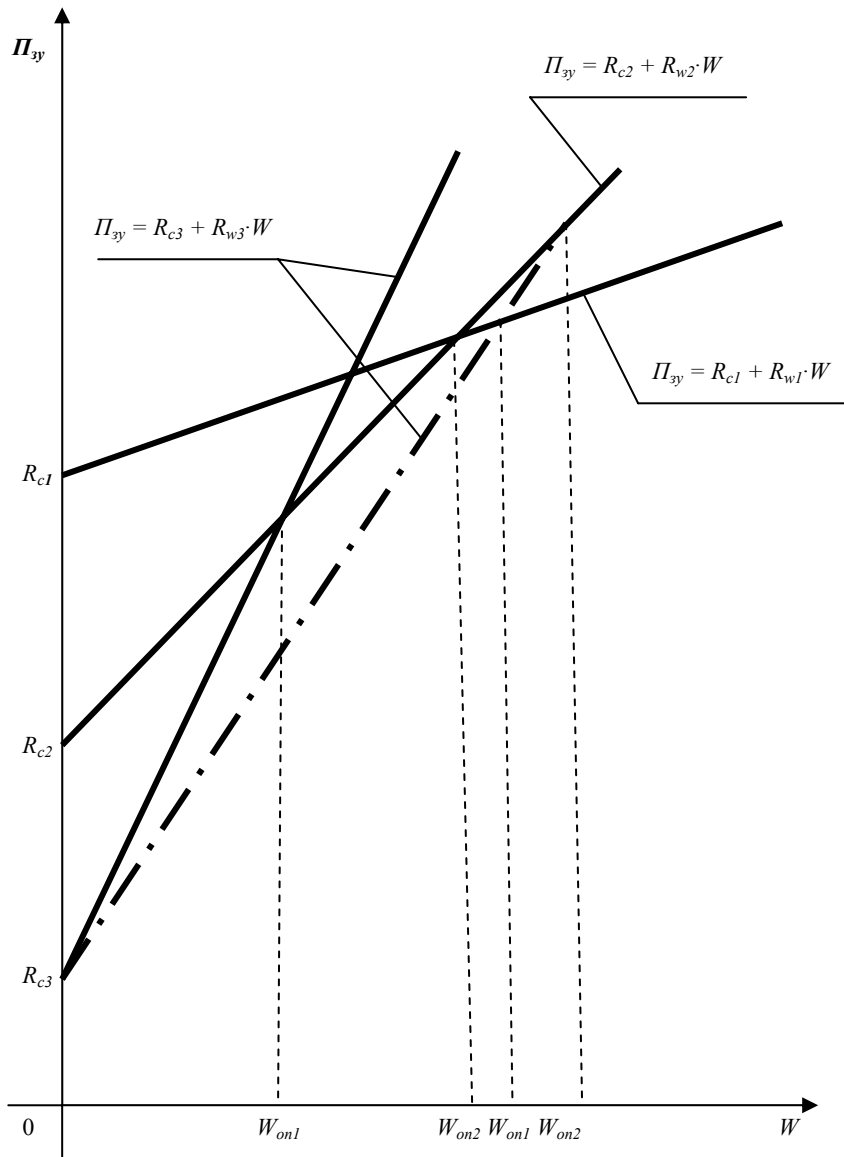


Рис. 2. Геометрична інтерпретація рішень задачі визначення оптимальних обсягів робіт для кожного типорозміру машин

В інтервалі (W_{on1}, ∞) зведені витрати на виконання робіт для першої машини будуть менше, ніж для другої. Отже, її доцільно використовувати, коли дійсний обсяг робіт буде знаходитися в цьому інтервалі.

У точці $W = W_{on1}$ питомі витрати для обох машин будуть рівні. Тому для виконання роботи можна використовувати кожну з них.

В інтервалі $(0, W_{on1})$ доцільно використовувати другу машину, тому що питомі витрати для неї менше.

Розв'язуючи систему рівнянь (6), одержуємо

$$W_{on1} = \frac{R_{c1} - R_{c2}}{R_{w2} - R_{w1}}. \quad (8)$$

Якби кількість типорозмірів машин була б обмежена двома, то на цьому розв'язання задачі визначення оптимальних обсягів робіт для кожної з машин було б закінчене. Цікаві особливості з'являються, коли конкуруючих машин більше двох, у загальному випадку n .

З машин, що залишилися, виберемо таку, значення параметрів R_w якої є мінімальним, позначивши коефіцієнти її точки в просторі критеріїв R_{c3} , R_{w3} . Оскільки ця точка лежить в області S_4 відносно до точки з координатами R_{c2} , R_{w2} , виконуються умови

$$\begin{cases} R_{c2} > R_{c3}, \\ R_{w2} < R_{w3}. \end{cases} \quad (9)$$

Отже, система

$$\begin{cases} \Pi_{3y} = R_{c2} + R_{w2}W, \\ \Pi_{3y} = R_{c3} + R_{w3}W. \end{cases} \quad (10)$$

має єдиний розв'язок і, аналогічно раніше розглянутому випадку, цей розв'язок визначає граничну точку W_{on2} , що розділяє область можливих робіт на двох підобласті, у кожній з яких більш краще застосування однієї з розглянутих машин.

Якщо прями, описувані рівняннями системи (10) перетинаються, як показано на рис. 2, то це означає, що застосування другої машини більш переважно при виконанні обсягів робіт, що належать інтервалові (W_{on2}, W_{on1}) , а третьої – $(0, W_{on2})$.

Однак можливий і більш складний випадок, коли абсциса точки перетину цих прямих W'_{on2} лежить праворуч стосовно W_{on1} (пунктир на рис. 2). У цьому випадку має місце цікава особливість. Хоча кожна з трьох розглянутих машин

стосовно іншої має свою область доцільного використання, при їхньому спільному застосуванні друга машина області доцільного значення не має (системний ефект). При цьому, як видно на рис. 2, змінюється область доцільного використання першої машини, що належить інтервалові (W'_{on1}, ∞) . Значення лівої границі може бути визначене шляхом розв'язання системи рівнянь

$$\begin{cases} \Pi_{3y} = R_{c1} + R_{w1}W, \\ \Pi_{3y} = R_{c3} + R_{w3}W, \end{cases} \quad (11)$$

причому

$$W'_{on1} = \frac{R_{c3} - R_{c1}}{R_{w1} - R_{w3}}. \quad (12)$$

Виконуючи аналогічні міркування для четвертої, п'ятої машин тощо, можна знайти області їхнього припустимого використання. При цьому варто врахувати, що в результаті системного ефекту зі списку комплектації парку, при обліку технічних характеристик чергової машини, може виключатися не одна, а декілька попередніх.

Блок-схема алгоритму визначення машин, якими доцільно комплектувати парк, наведена на рис. 3.

Варто звернути увагу, що в результаті застосування цього алгоритму визначаються тільки типорозміри машин, з яких доцільно комплектувати парк. Їхній кількісний склад повинний бути визначений на підставі розгляду структури потоку вимог.

Слід зазначити, що розглянутий метод порівняння конкуруючих варіантів використання будівельних машин не новий. Різні його аспекти розглянуті в роботах професора С. Е. Канторера і його учнів.

Новою є форма викладу матеріалу, що покладена в основу алгоритму і програми визначення типорозмірів машин і їхньої кількості для комплектації парку, запропоновані у цій статті.

Висновок

Цифри, які характеризують виробничі можливості загонів Держспецтрансслужби, не є сталими; вони можуть змінюватися залежно від штату загонів та можливостей відновлювальної техніки. Реформування та розвиток Держспецтрансслужби передбачає створення таких мобільних формувань, які здатні швидко переміщатися у визначені регіони всіма видами транспорту для виконання завдань в інтересах транспортного забезпечення, а також для участі в ліквідації наслідків аварій, катастроф, стихійних лих та терористичних актів на транспорті.

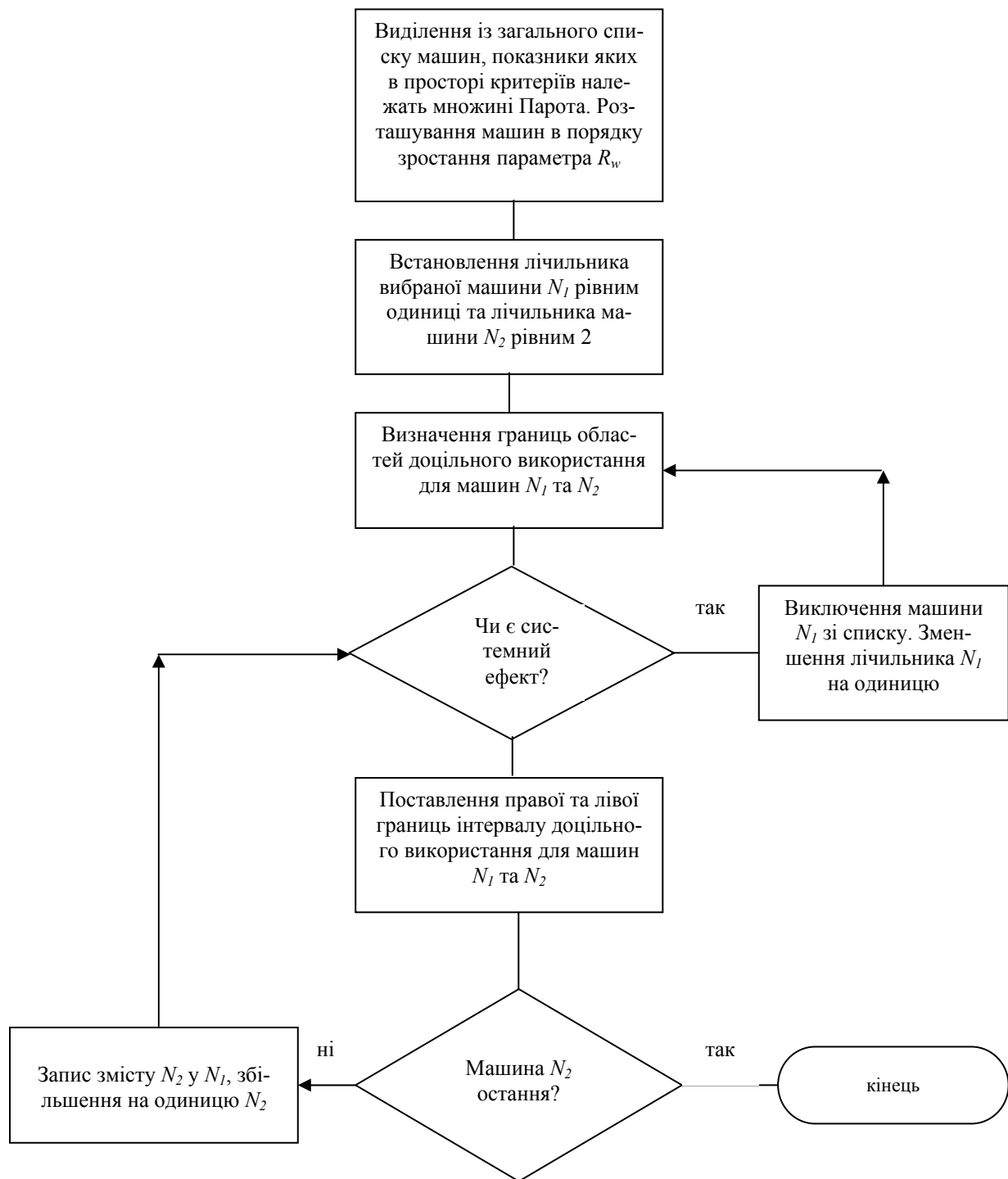


Рис. 3. Блок-схема алгоритму визначення будівельних машин для комплектації парку

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Беленький П. Е. Управление техническим и организационным развитием предприятия / П. Е. Беленький, Ю. Л. Гиттик, Т. В. Ландина. – К.: Техніка, 1992. – 126 с.
2. Герасимов Е. Н. Многокритериальная оптимизация конструкций / Е. Н. Герасимов, Ю. М. Почтман, В. В. Скалозуб. – К.–Донецк: Вища шк., 1985. – 134 с.
3. Кудрявцев Е. М. Комплексная механизация, автоматизация и механовооруженность строительства. – М.: Стройиздат, 1989. – 246 с.
4. Тимошенко В. К. Землеройные и землеройно-транспортные машины / В. К. Тимошенко, Л. А. Хмара. – Д.: ДИСИ, 1990. – 238 с.

Надійшла до редколегії 14.03.2005.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРА ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТЕПЛОВОЗА 2М62

Розглянуто способи зміни подачі осевих вентиляторів у системах охолодження теплоносіїв дизелів тепловозів. Запропоновано новий спосіб регулювання подачі, дано опис його роботи з погляду автоматичного регулювання. Вказана (у скороченні) методика розрахунку оптимальних параметрів роботи вентилятора у всьому діапазоні зміни подачі.

Рассмотрены способы изменения подачи осевых вентиляторов в системах охлаждения теплоносителей дизелей тепловозов. Предложен новый способ регулирования подачи, дано описание его работы с точки зрения автоматического регулирования. Указана (в сокращении) методика расчета оптимальных параметров работы вентилятора во всем диапазоне изменения подачи.

The article considers the ways of changing the supply of the axial fans in the heat-carrier cooling systems in the engines of diesel locomotives. A new way of the supply regulation has been provided, a description of its work from the point of view of automatic control has been given. There has been also provided an abridged procedure of calculating the optimum parameters of the fan operation within the whole range of the supply change.

При эксплуатации тепловозов внешние возмущения, действующие на систему охлаждения силовых установок, постоянно изменяются. Распределение этих воздействий при работе тепловоза носит случайный характер.

К основным внешним возмущающим воздействиям относятся: изменение нагрузки дизель-генераторной установки в процессе эксплуатации; переключение позиций контроллера машиниста; изменение внешних условий работы тепловозов, такие как температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность, а также некоторые другие.

В тоже время работа силовых установок при любых внешних возмущающих воздействиях должна поддерживаться в режимах, обеспечивающих наибольшую экономичность.

Совокупность этих условий определяет ряд требований к автоматическим системам регулирования температуры [5].

Регулирование температуры теплоносителей дизелей осуществляется изменением расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$, продуваемого через секции радиаторов охлаждающего устройства (ОУ) тепловоза при помощи осевого вентилятора.

Изменение расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$ через секции может осуществляться различными способами [1]:

- изменением частоты вращения вентилятора ω_v при угле установки лопаток вентилятора $\alpha_v = \text{const}$;
- изменением угла установки лопаток вентилятора α_v при $\omega_v = \text{const}$;

- путем дросселирования сети ОУ;
- совместный способ регулирования, при котором регулирование подачи вентилятора осуществляется путем одновременного изменения ω_v и α_v .

Первый способ получил распространение в большинстве тепловозов [5; 7]. В зависимости от типа привода вентилятора осуществляется либо ступенчатое (2ТЭ116, ТЭ109, ТЭ114), либо непрерывное (ТЭ10, ТЭП60, ТЭП70, ТЭМ7) управление ω_v .

Второй способ регулирования применялся в качестве опытного [8] на грузовых тепловозах (ТЭЗ, 2ТЭ121) и широкого распространения не получил.

Регулирование расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$ осевого вентилятора при помощи дросселирования сети является самым неэкономичным способом [1], т. к. в процессе дросселирования смещается его рабочая точка, что приводит к снижению КПД вентилятора и, следовательно, увеличению мощности на его привод. На тепловозах такой способ регулирования в широком диапазоне изменения расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$ не применяется, а используется в качестве предварительной ступени регулирования, осуществляемой до пуска вентиляторов и реализуется путем открытия и закрытия жалюзи ОУ.

При проектировании ОУ расчет параметров работы вентилятора ведется только для номинального режима работы регулируемого объекта, а режимы холостого хода и частичных нагрузок

не учитываются. На этих режимах параметры работы вентилятора не всегда соответствуют оптимальным, что приводит к увеличению удельных затрат мощности на его привод. Наиболее экономичным способом регулирования расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$, подаваемого вентилятором ОУ тепловоза, мог бы быть предлагаемый совместный способ регулирования.

При таком способе регулирования ω_b и α_b могут дискретно или непрерывно изменяться в зависимости от требуемого $G_{вз}$. Реализация данного способа возможна при применении микропроцессорных систем регулирования температуры [3].

На рис. 1. приведена одна из возможных функциональных схем осевого вентилятора как исполнительно-регулирующего устройства (ИРУ) микропроцессорной АСРТ с отдельным регулированием скорости вращения вентиляторного колеса и угла установки лопаток.

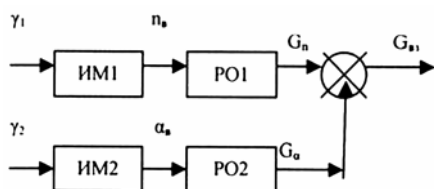


Рис. 1. Функциональная схема осевого вентилятора как исполнительно-регулирующего устройства (ИРУ)

ИРУ содержит осевой вентилятор с независимым приводом, исполнительными механизмами ИМ1 и ИМ2, которые управляют рабочими органами РО1 и РО2. Система управления (СУ) с микропроцессорным блоком, содержащим математическую модель и датчики, который, в зависимости от внешнего возмущения, осуществляет перерасчет значений управляющих сигналов γ_1 , γ_2 и подачу их на исполнительные механизмы. Таким образом, осуществляется непрерывное регулирование расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$ в зависимости от величины внешнего возмущения системы с максимально возможным КПД и, следовательно, минимальной мощности на привод вентилятора. На данное ИРУ получен патент на изобретение [9].

Работа ИРУ осуществляется следующим образом:

1. В зависимости от температуры теплоносителей, температуры окружающего (охлаждающего) воздуха и др. параметров, преобразуемых при помощи датчиков в сигналы рассогласования, в микропроцессорном блоке системы рассчитывается требуемая величина расхода охлаждающего воздуха $G_{вз}$.

2. Математическая модель [4] работы вентилятора в зависимости от величины расхода

охлаждающего воздуха $G_{вз}$ рассчитывает ω_b и α_b , при которых коэффициент полезного действия КПД будет максимальным.

3. Далее СУ выдает управляющие сигналы, которые подаются на ИМ1 и ИМ2 и далее к РО1 и РО2, которые устанавливают требуемые значения ω_b и α_b .

4. При изменении возмущающего воздействия на систему, в программном блоке происходит перерасчет параметров $G_{вз}$, а, следовательно, ω_b и α_b , далее цикл работы ИРУ повторяется.

Рассмотрим пример оптимизации параметров работы вентиляторов ОУ тепловозов серии ТЭП60 и М62 (2М62).

Данные серии тепловозов имеют близкие аэродинамические характеристики сети ОУ и конструкционные параметры вентиляторов [2].

Как известно [1] расход мощности на привод вентилятора определяется выражением (кВт)

$$N_b = \frac{G_{вз} \cdot H}{1000 \cdot \eta_b}, \quad (1)$$

где $G_{вз}$ – расход воздуха, м³/с; H – напор вентилятора, Па; η_b – КПД вентилятора.

При этом напор и КПД вентилятора являются функциями $G_{вз}$

$$H = f(G_b) \text{ и } \eta_b = f(G_{вз}).$$

Расчет $\eta_b = f(G_{вз})$ при совместном способе регулирования ведется следующим образом:

1. В зависимости от температуры теплоносителей определяется требуемое количество $G_{вз}$ во всем диапазоне работы дизель-генераторной установки (для тепловоза серии 2М62 при $t_{вз}$ равной -20°C $G_{вз, \max} \approx 35 \text{ м}^3/\text{с}$).

2. На основании значений $G_{вз}$ рассчитываются безразмерные характеристики сети.

3. Определяются точки пересечения безразмерных характеристик сети с напор-расходными характеристиками вентилятора – рабочие точки вентилятора.

4. Определяется КПД для различных α_b , соответствующий рабочим точкам вентилятора.

5. Из полученной матрицы КПД для одного значения $G_{вз}$ выбирается η_{\max} и определяется значение $\alpha_{\text{опт}}$.

6. На основании η_{\max} определяется значение безразмерного коэффициента расхода ϕ , соответствующего $\alpha_{\text{опт}}$ и η_{\max} .

7. Расчет ω_b ведется по формуле

$$\omega_B = \frac{G_{B3}}{0,392 \cdot D_K^3 \cdot \varphi}, \quad (2)$$

где D_K – диаметр вентилятора, м; φ – безразмерный коэффициент расхода.

8. Производится расчет N_B по выражению (1).

9. По результатам расчета для каждого значения G_{B3} создаются матрицы $\omega_{B, \text{опт}}$ и $\alpha_{B, \text{опт}}$ и строятся зависимости:

$$N_B = f(G_{B3}), \quad \omega_{B, \text{опт}} = f(G_{B3}),$$

$$\eta_B = f(G_{B3}), \quad \alpha_{B, \text{опт}} = f(G_{B3}).$$

Для экономического сравнения со штатной системой регулирования расчет повторяется при фиксированных значениях α_B . Рабочие точки вентилятора и значения η_B определяются по методике изложенной в работах [4; 6; 7], но в процессе эксплуатации эти параметры не изменяются. Таким образом, η_B будет определяться только величиной α_B .

На рис. 2 приведены затраты мощности на привод вентиляторов охлаждающего устройства

дизеля для совместного (1) и при штатного (2) способа управления вентилятором тепловоза М62 при температуре охлаждающего воздуха -20°C .

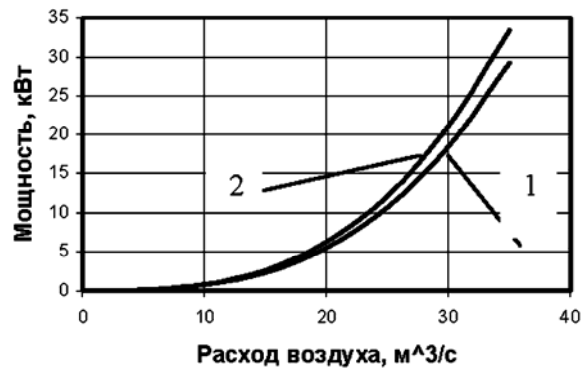


Рис. 2. Затраты мощности на привод вентиляторов охлаждающих устройств

Значения оптимальной мощности $N_{B, \text{опт}}$, затрачиваемой на привод вентилятора, оптимальных частот и углов $\omega_{B, \text{опт}}$ и $\alpha_{B, \text{опт}}$, а также разность затрат между предлагаемым способом управления вентилятором и штатным способом, приведена в таблице.

Таблица

Параметры работы вентилятора при совместной и штатной системах управления вентилятором

$G_{B3}, \text{ м}^3/\text{с}$	$H, \text{ Па}$	$\omega_{\text{опт}}, \text{ об/мин}$	$\omega_{2M62}, \text{ об/мин}$	$\alpha_{\text{опт}}, \text{ град}$	$\alpha_{2M62}, \text{ град}$	$\eta_{B, \text{опт}}$	$\eta_{B, 2M62}$	$N_{\text{опт}}, \text{ кВт}$	$N_{2M62}, \text{ кВт}$	$\Delta N, \%$
3	9,28	76,27	83,37	24,0	20	0,81	0,73	0,034	0,036	5,23
5	18,46	126,7	128,1	24,6	20	0,83	0,782	0,106	0,117	9,57
10	61,58	176,5	249,8	35,0	20	0,84	0,788	0,73	0,800	10,01
15	133,5	262,3	370,1	35,0	20	0,844	0,788	2,37	2,640	10,44
20	234,2	349,8	499,7	35,0	20	0,844	0,788	5,54	6,080	10,44
25	363,7	437,3	616,9	35,0	20	0,844	0,788	10,76	12,010	10,44
30	522,0	520,1	740,3	35,0	20	0,847	0,788	18,49	20,690	10,44
35	709,1	606,8	863,7	35,0	20	0,847	0,788	29,30	32,800	10,44

Из анализа рис. 2 и таблицы следует, что при совместном способе регулирования подачи вентилятора при его установке в ОУ тепловоза 2М62 величина затрат на его привод будет снижаться пропорционально увеличению подачи по сравнению со штатной системой регулирования. По сравнению со штатной системой управления, подача вентилятора реализуются при больших углах установки лопаток вентилятора, что соответствует более высокому КПД вентилятора, и при меньших частотах вращения.

Наибольшая экономия достигается при максимальной подаче вентилятора, $35 \text{ м}^3/\text{с}$

и составляет 10,44 % по сравнению со штатной системой управления. При работе вентилятора в охлаждающем устройстве тепловоза ТЭП60, который имеет угол установки лопаток вентилятора 20° величина экономии увеличивается и при максимальной подаче составляет 14,25 %

Данные расчеты не учитывают потери мощности в приводе вентилятора. Расчетная величина экономии относится только к расходу мощности на привод вентилятора.

Также необходимо отметить, что в зоне низких расходов, в которой тепловоз работает большую часть времени [2], экономия состав-

ляет 5...10 %, что позволяет сделать вывод об экономичности совместного регулирования во всем диапазоне работы ОУ тепловоза. Такая система регулирования может дополнять уже существующие на локомотивах системы регулирования температуры и при небольшой модернизации позволит дополнительно экономить дизельное топливо.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брусиловский И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов. – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с.
2. Кононов В. Е. Справочник машиниста тепловоза / В. Е. Кононов, А. В. Скалин, В. Д. Шаров. – М.: Желдориздат, 2004. – 320 с.
3. Космодамианский А. С. Измерение и регулирование температуры обмоток тяговых электрических машин локомотивов. Монография. – М.: РГОТУПС, 2002. – 286 с.
4. Космодамианский А. С. Оптимизация параметров исполнительно-регулирующих устройств микропроцессорных систем регулирования температуры на тепловозах / А. С. Космодамианский, И. А. Алейников, Ю. В. Попов // Инновации в эксплуатации и развитии инфраструк-

туры железнодорожного транспорта: Сборник докладов научно-практической конференции. – М.: ВНИИЖТ, 2004. – С. 176.

5. Куликов Ю. А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов. – М.: Машиностроение, 1998. – 280 с.
6. Луков Н. М. Методика выбора оптимальных параметров работы осевого вентилятора в системе охлаждения тепловоза / Н. М. Луков, А. С. Космодамианский, Ю. В. Попов, А. И. Герасимов, А. И. Кравцов. – М. 2003., 7 с., деп. в ВИНТИ 12.12.2003, № 2277 В2003.
7. Тепловозы. Конструкция, теория и расчет / Под ред. Н. И. Панова. – М.: Машиностроение, 1976. – 544 с.
8. Эксплуатационные испытания и доводка вентилятора с поворотными лопастями с системы автоматического управления. Отчет по НИР. И-81-65. ВНИТИ, Коломна, 1965 г.
9. Патент 2201028. Исполнительно-регулирующее устройство для автоматических систем регулирования температуры обмоток тяговых электрических машин. Н.М. Луков, А. С. Космодамианский, И. А. Алейников. – Оpubл. В Б.И., 2003, – № 8.

Поступила в редколлегию 17.11.2005.

С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), В. М. БУБНОВ, Д. Т. ЛАВРЕНКО (ООО «ГСКБВ»)

ТЕНДЕНЦИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Наведено аналіз основних технічних рішень конструкцій вагонів-цистерн для перевезення світлих нафтопродуктів. Особливу увагу приділено вузлу з'єднання котла та рами вагона.

Представлен анализ основных технических решений конструкций вагонов-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов. Особое внимание уделено узлу соединения котла и рамы вагона.

An analysis of main engineering designs for constructions of tank cars for transportation of light oil products is presented in the paper. A special attention is paid to the connection unit of boiler and wagon frame.

Работы по совершенствованию конструкции и повышению надежности выпускаемых вагонов-цистерн проводятся многими конструкторскими организациями практически во всех промышленно-развитых странах. Постоянное совершенствование конструкции цистерн связано с характером перевозимых грузов, которые, как правило, относятся к категории опасных. В свете проводимых работ по совершенствованию конструкций цистерн большое внимание уделяется такому узлу как соедине-

ние котла с рамой, который, по сути, является одним из наиболее ответственных конструктивных узлов, отвечающий за устойчивость и прочность конструкции цистерны в целом.

Анализ данных, полученных при изучении зарубежного опыта цистерностроения, а также проведенные патентные исследования (более 200 патентов), позволили сравнить и классифицировать основные конструктивные схемы вагонов-цистерн в части соединения котла к раме (рисунок).

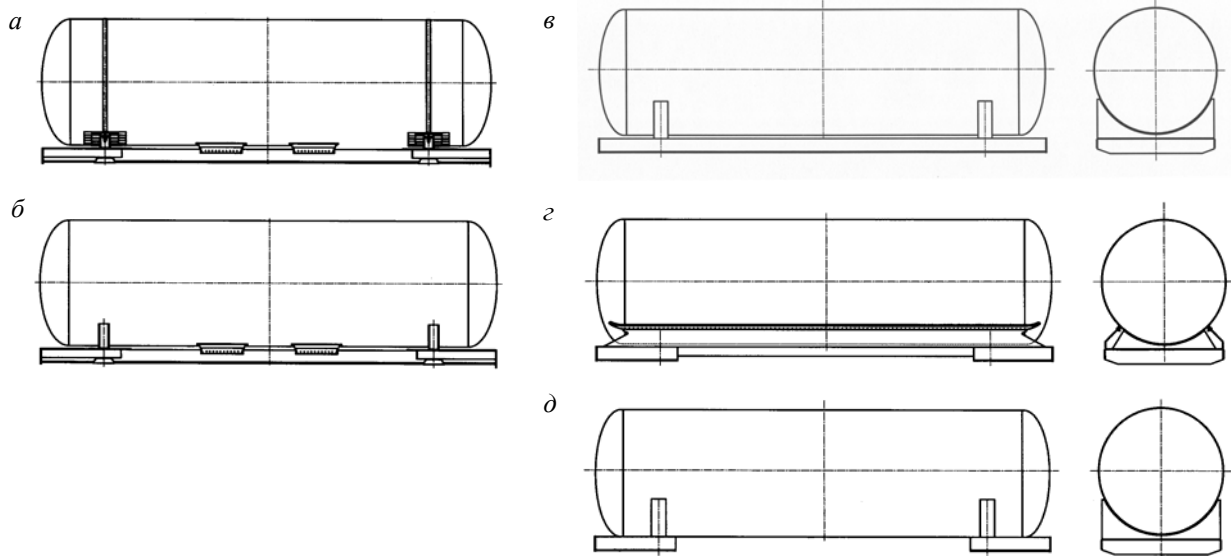


Рис. Классификация конструктивных схем крепления котла на раме:
а – хомутовая схема; б – бесхомутовая схема; в – двухточечная схема; г – жесткая (европейская) схема;
д – безрамная схема

Для цистерн, изготавливаемых в странах СНГ и Скандинавии, характерна хомутовая схема (см. рис., а). Крепление котла на раме осуществляется в средних и концевых его частях. В средней части крепление котла на раме осуществляется с помощью фасонных лап, препятст-

вующих смещению котла относительно рамы, а концевые части котла опираются свободно на крайние опоры. К крайним опорам котел притянут стяжными хомутами, предназначенными для предотвращения вертикальных и поперечных перемещений котла относительно рамы.

Особенностью конструкции рамных цистерн является то, что хребтовая балка почти не участвует в восприятии основных вертикальных нагрузок. Это объясняется большей жесткостью котла по сравнению с жесткостью хребтовых балок рамы. Шкворневые балки рамы подвержены значительным вертикальным нагрузкам, и при приложении к их концам усилий, необходимых для подъема кузова, в этих балках могут возникнуть значительные напряжения. Хребтовые балки служат в основном для восприятия продольных усилий. Особенности хомутового крепления котла на раме отражены в патентах [1; 2].

К основным недостаткам такой конструктивной схемы соединения котла к раме следует отнести необходимость применения для изготовления котла листов различной толщины, что не позволяет применять прогрессивные методы при их изготовлении, например, изготовление котлов методом спиральной навивки и др., а также увеличивает количество типоразмеров применяемого металлопроката.

Еще одним существенным недостатком является применение в качестве опорных поверхностей деревянных брусков, которые в процессе эксплуатации могут растрескиваться, менять влажность, а следовательно, и механические свойства при изменении метеорологических условий, кроме того, при установке котла на опоры присутствует трудоемкая операция по подгонке опорного контура деревянных брусков к контуру поверхности цилиндрической части котла.

Схема бесхомутового крепления котла на раме (см. рис., б). Такое решение направлено на повышение надежности крепления путем исключения возможности образования зазоров между котлом и рамой в процессе эксплуатации. Особенности бесхомутового крепления котла на раме отражены в патентах [3; 4].

Схема двухточечного крепления котла на раме (см. рис., в). Она характеризуется отсутствием среднего крепления котла. Передача эксплуатационных нагрузок (вертикальных, продольных и поперечных) от котла на раму осуществляется через опоры. Сущность двухточечного крепления котла на раме можно видеть в патентах [5–7].

Схема двустороннего бокового крепления (см. рис., г), характерна для цистерн, изготавливаемых в странах Западной Европы. Рамы этих цистерн имеют, в большинстве своем стандартизованную конструкцию, а их конструктивное исполнение обусловлено в значительной мере спецификой конструкции котлов

и способов крепления их на раме. Рама, как правило, состоит из системы продольных и поперечных балок и консолей. В конструкции широко применяются гнутые и прокатные профили.

Широкое распространение получило боковое крепление котла и рамы по всей его длине, в связи с чем, рама имеет усиленные боковые продольные балки.

Двустороннее боковое крепление наиболее распространено во Франции и Германии. К котлу снизу с двух сторон по всей длине приваривается специальный профиль, к которому при помощи направляющих элементов (болты, заклепки) крепятся наклонные листы, приваренные по всей длине к продольным балкам рамы, а в безрамных конструкциях к концевым боковым элементам [8; 9].

Безрамная схема крепления котла к полураме (см. рис., д), характерна для цистерн, изготавливаемых в странах СНГ и Северной Америки. Две концевые полурамы имеют соответствующие элементы опор, к которым посредством сварки крепится котел. При такой схеме котел становится несущим элементом конструкции и, следовательно, воспринимает на себя все эксплуатационные нагрузки вместе с полурамой [10–12].

Рассмотренные технические решения характерных конструкций соединения котла с рамой можно классифицировать следующим образом:

- хомутовая схема;
- бесхомутовая схема;
- двухточечная схема;
- жесткая схема;
- безрамная схема.

Таким образом, исходя из анализа технических решений крепления котла к раме, можно сформулировать основные задачи по созданию перспективной конструкции железнодорожной цистерны в части крепления котла на раме цистерны должна:

- иметь безрамную конструкцию;
- обладать пониженной металлоемкостью;
- иметь пониженный центр тяжести вагона за счет максимально-возможного приближения котла к полурамам;
- иметь максимально возможный объем при базе 7 800 мм и длине по осям сцепления автосцепки 12 020 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 1402466 СССР. Железнодорожная цистерна / Ю. Я. Водяников, А. В. Донченко, В. С. Олещак, В. С. Лагута, Ю. А. Холод, Ю. А. Бекасов. – Заявл. 10.11.86; Опубл. 15.06.88, Бюл. № 22.

2. Пат. RU 216102 С2 Российская Федерация. Железнодорожная цистерна / А. В. Зоценко, В. П. Герман, В. П. Ефимов, Н. А. Малых, В. А. Андронов, В. И. Полявин, А. С. Вельчев, Б. Ю. Мажневских, А. П. Шилов. – Заявл. 09.02.1999; Оpubл. 27.12.2000, Бюл. № 36.
3. Пат. RU 2063347 С1 Российская Федерация. Железнодорожная цистерна / Р. А. Зашляпин, И. К. Насибулин, Н. Е. Коньшев, С. Б. Радишевский. – Заявл. 24.03.92; Оpubл. 10.07.96, Бюл. № 19.
4. А.с. 1207867 СССР. Железнодорожная цистерна / Ю. Я. Водяников, В. С. Лагута, А. В. Донченко, Ю. А. Холод, Л. А. Головки, В. М. Бубнов, Е. А. Лалуев. – Заявл. 16.10.84; Оpubл. 30.01.86, Бюл. № 4.
5. А.с. 1592200 А1 СССР. Устройство крепления котла железнодорожной цистерны к раме / В. А. Антипов, В. И. Климанов, С. Т. Павленко, А. С. Пыстогов и В. А. Терехов. – Заявл. 12.04.88; Оpubл. 15.09.90, Бюл. № 34.
6. Патент № 1.380.600 Франция.
7. Патент № 671282 Германия.
8. Пат. № 636400 Франция. Крепление котла железнодорожной цистерны к раме / Кристиан Кардон. – Заявл. 25.07.1988; Оpubл. 26.01.1990; ВОПИ «Brevets» № 4.
9. Пат. № 2518966 Франция. Крепление котла железнодорожной цистерны к раме / Альберт Декроикс. – Заявл. 30.12.1981; Оpubл. 01.07.1983, «Listen» № 26.
10. Пат. № 5467719 США. Способ соединения котла к раме / Tomas H. Dalrymple, Christopher C. Harkey. – Заявл. 29.07.1994; Оpubл. 21.11.1995.
11. Пат. № 4257332 США. Способ соединения котла к раме / Mark A. Sochrist. – Заявл. 15.06.1979; Оpubл. 24.03.1981.
12. Пат. RU 2 257 305 С2 Российская Федерация. Крепление котла цистерны к полурамам / В. П. Ефимов, А. Н. Стрельченко, Л. М. Васильева, Н. А. Малых, А. В. Крючков, В. А. Андронов, К. П. Демин, А. А. Поликарпов, А. А. Илларионов, М. В. Агинских, А. Б. Левин, А. В. Бесастный, Н. А. Белов. – Заявл. 29.07.2002; Оpubл. – 27.07.2005, Бюл. № 21.

Поступила в редколлегию 18.11.2005.

Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, Л. С. ОЛЬГАРД, А. В. ГРЕЧКО (УкрНИИВ)

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГОРОЧНОГО БАШМАКА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

Наведено результати досліджень взаємодії гіркового башмака і вагона як на площадці, так і на уклони 30 %. Приведені статистичні характеристики осевих зусиль, що діють на башмак. Показано, що взаємодія вагона і башмака характеризується складним коливальним процесом башмака, що містить як низькочастотну, так і високочастотну складові зміни осевих зусиль.

Представлены результаты исследований взаимодействия горочного башмака и вагона как на площадке, так и на уклоне 30 %. Приведены статистические характеристики осевых усилий, действующих на башмак. Показано, что взаимодействие вагона и башмака характеризуется сложным колебательным процессом башмака, который содержит как низкочастотную, так и высокочастотную составляющие изменения осевых усилий.

The article presents the results of study of the interaction processes of a brake shoe and a wagon on the level ground and a 30 % bias during braking operation. The static characteristics of the axial forces, acting upon the brake shoe, as well as their maximum values are defined. It is shown that the car-shoe interaction is characterized by a complex oscillation process of the shoe, containing both low- and high-frequency components of the change of axial effort.

Объектом исследований является башмак тормозной горочный (далее башмак), который изготовлен по ТУ У 35.2-05786152-065-2003. Башмак предназначен для удержания вагонов на уклонах, а также замедления скорости движения при производстве сортировочных работ на горках.

В соответствии с п.п 1.3.2, 1.3.3 ТУ У 35.2-05786152-065-2003 допустимая осевая нагрузка от колеса вагона на башмак на станционных путях с уклоном до 3 % при скорости накатывания вагона 6 км/ч не должна превышать 28 тс (275 кН), при работе на сортировочных горках и маневровых работах с уклоном пути до 30 % – 14 тс (140 кН).

Целью работы являются исследования процессов взаимодействия башмака и единиц подвижного состава, оценка усилий, которые действуют на башмак при их взаимодействии.

Исследованиям подвергались два башмака принятые ОТК и прошедшие приемо-сдаточные испытания.

Перед началом испытаний на башмаки наклеивались четыре тензорезистора типа 2ПКБ-20-200В симметрично относительно действия осевой силы. Тарировка тензорезисторов проводилась на специальном стенде путем приложения осевых усилий 0...294,3 кН (30 тс) с интервалом 19,62 кН (2 тс).

Осевое нажатие на тормозной горочный башмак на уклоне 3 % определялось при накатывании на башмак одиночного вагона массой 90 тс при скорости движения 6 км/ч. Усилия определялись по помощи тарировочных графиков.

Для разгона вагона до необходимой скорости использовался маневровый локомотив.

Запись процессов взаимодействия башмака и вагона проводилась от начала нажатия колеса на башмак до полной остановки вагона.

Осевое нажатие на башмак на уклоне до 30 % определялось как при статическом, так и при динамическом воздействии:

– при исследовании воздействия статической нагрузки под одно из колес заторможенного сцепа (груженный вагон и локомотив), ставился башмак, после чего тормоза полностью отпускаясь;

– при исследовании динамической нагрузки, на башмак накатывался сцеп в составе нагруженного вагона и локомотива, который в начале опыта находился на расстоянии 2 м от башмака.

Количество опытов во всех случаях принималось не менее 5.

Амплитуды показаний прибора подвергались статистической обработке с целью отсева значений, которые не попадают в статистическую закономерность и обусловленные факторами выходящими за границу физического процесса.

Случайная величина отсеивается, если для нее выполняется неравенство [1]:

$$\left[a_i^{\max(\min)} - m \right] / s > T_{p,n}, \quad (1)$$

где $a_i^{\max(\min)}$ – максимальные (минимальные) значения из выборочной совокупности слу-

чайных величин; m – математическое ожидание замеренных значений; s – среднее квадратичное отклонение; $T_{p,n}$ – критическое значение T_p (p – процентная точка нормированного выборочного отклонения), обусловленное критическим значением распределения Стьюдента $d_{p,n-2}$ [2]

$$T_{p,n} = \frac{d_{p,n-2} \sqrt{n-1}}{\sqrt{n-2 + d_{p,n-2}^2}}, \quad (2)$$

где $d_{p,n-2}$ – процентные точки T -распределения Стьюдента.

Статистическая обработка исследуемых процессов состояла в определении:

- математического ожидания

$$\bar{m}_{\Delta_i} = \sum_{j=1}^{n_i} h_{ij} / n_i, \quad (3)$$

где h_{ij} – значения j -й случайного размера в i -ом интервале; n_i – количество измерений в i -ом интервале; m_{Δ_i} – математическое ожидание случайного размера в i -ом интервале;

- среднее квадратичное отклонение

$$S_{\Delta_i} = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - m_{\Delta_i})^2 \right] / n_i - 1}. \quad (4)$$

Случайные размеры в каждом временном срезе группировались на классы (интервалы) по правилу Штюргеса [3]

$$k \approx 1 + \lg(n_{ij}), \quad (5)$$

где k – число классов.

Проверка нулевой гипотезы о равенстве (однородности) средних оценивается с помощью критерия Стьюдента.

Оценкой σ^2 служит выборочная полная (общая) дисперсия S^2 , а интервальной оценкой математического ожидания a – выборочное общее среднее \bar{m}_{Δ_i} . Доверительные интервалы

для a и σ^2 для $p = \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1$ степеней свободы определялись из выражений:

$$\bar{m}_{\Delta_i} - \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}} t_{\alpha,p} < a < \bar{m}_{\Delta_i} + \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}} t_{\alpha,p}; \quad (6)$$

$$\frac{S_i^2 \left(\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1 \right)}{\chi_{P_1}^2} < \sigma^2 < \frac{S_i^2 \left(\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1 \right)}{\chi_{P_2}^2}. \quad (7)$$

Значения $t_{\alpha,p}$, $\chi_{P_1}^2$ и $\chi_{P_2}^2$ определяются по таблицам в зависимости от числа степеней свободы и выборочного уровня доверительной вероятности ($P = 0,95$).

Гистограммы распределения осевых усилий и эмпирическая вероятность их значений приведены на рис. 1–6, а статистические показатели в таблице.

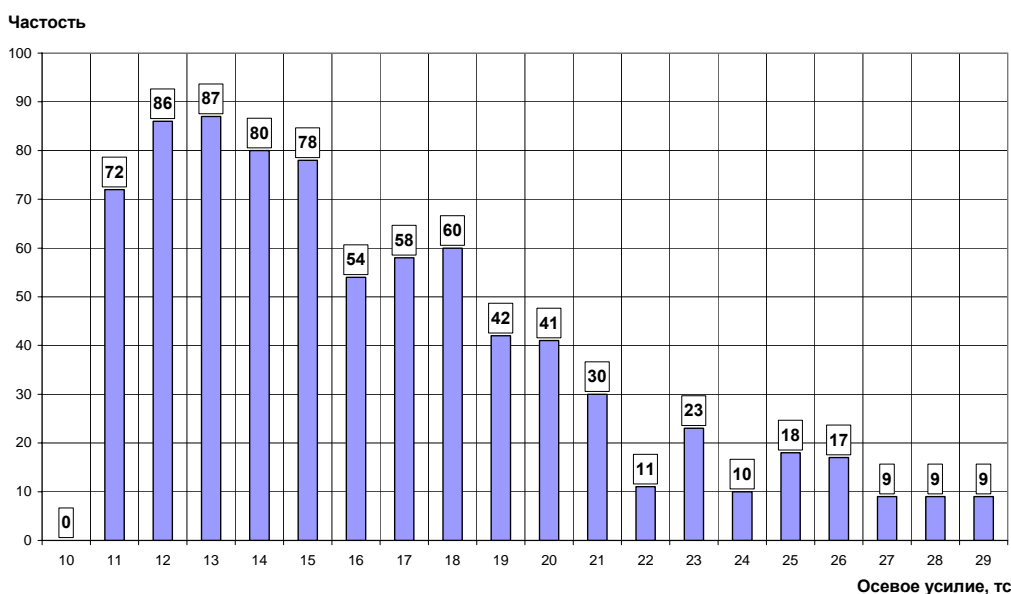


Рис. 1. Гистограмма распределения осевых усилий на уклоне до 3 ‰

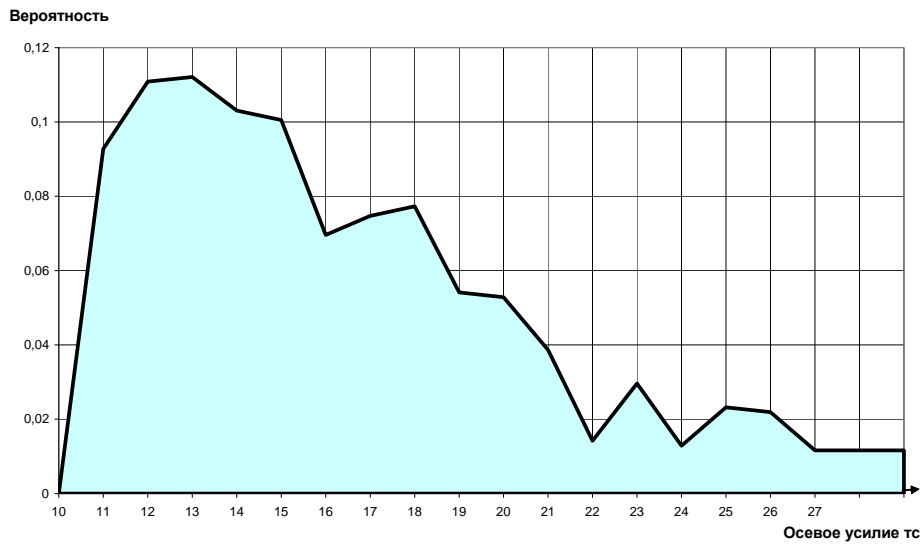


Рис. 2. Эмпирическая вероятность осевых усилий на уклоне до 3 %

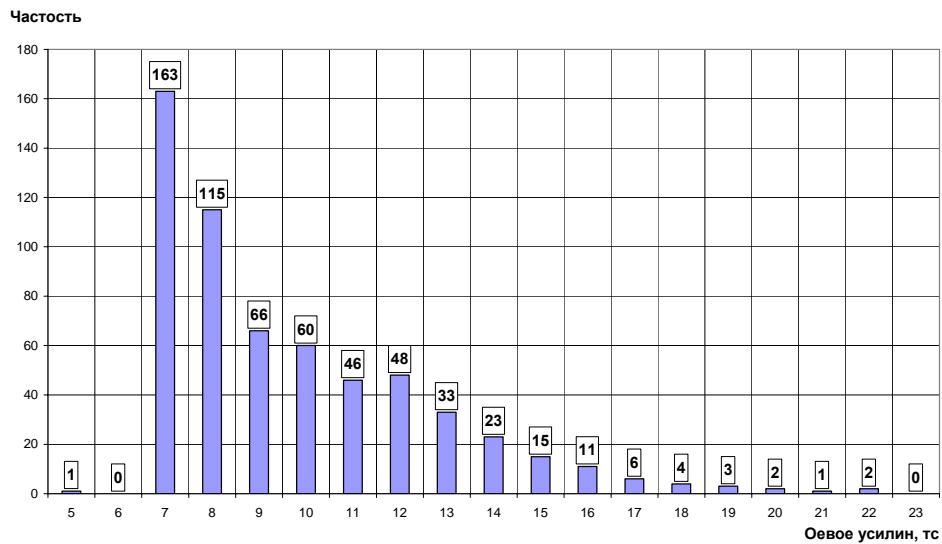


Рис. 3. Гистограмма распределения осевых усилий на уклоне до 30 % при статической нагрузке

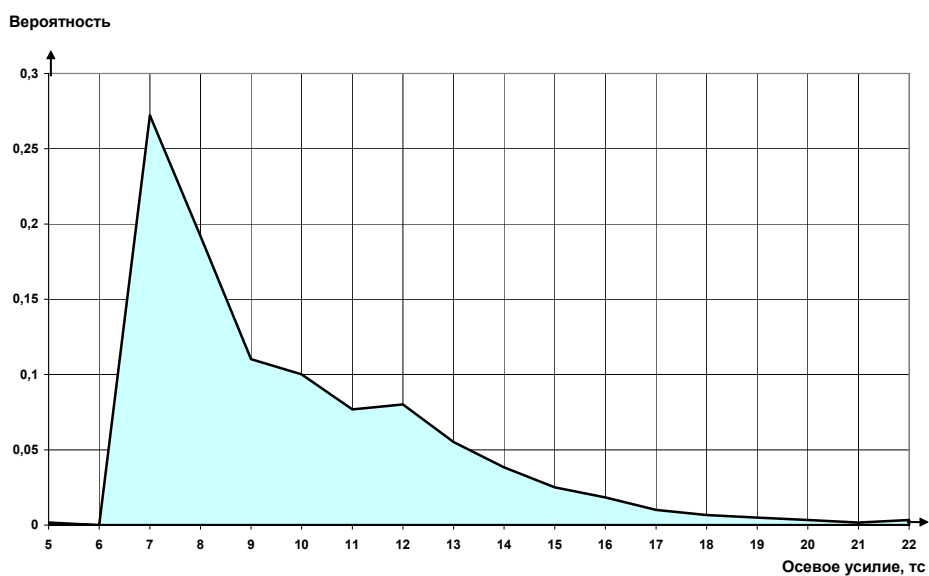


Рис. 4. Эмпирическая вероятность осевых усилий на уклоне до 30 % при накатывании схода

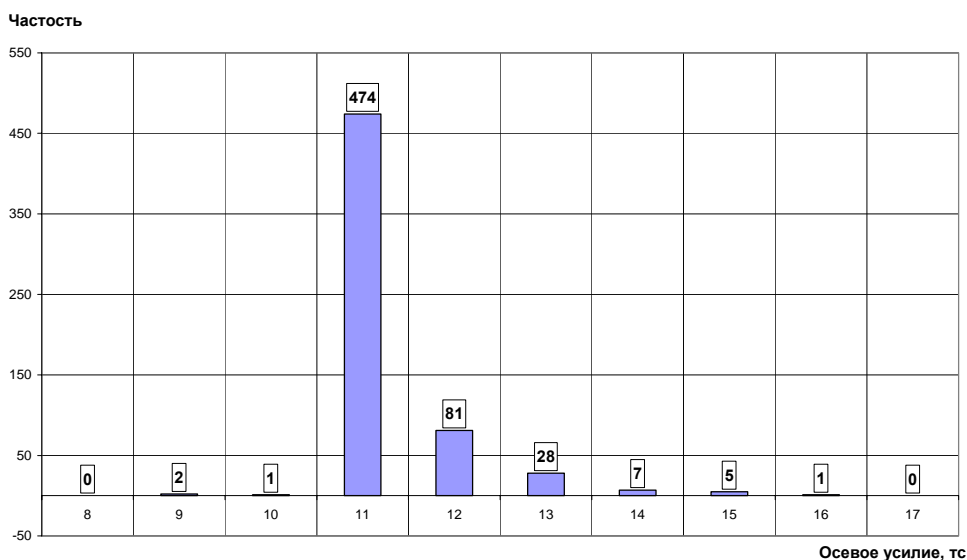


Рис. 5. Гистограмма осевых усилий на уклоне до 30 % при статической нагрузке

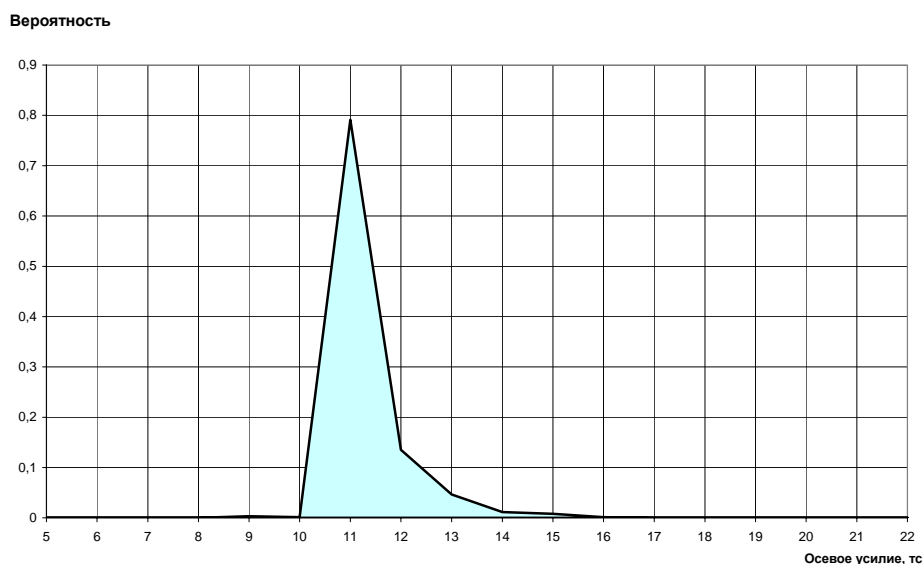


Рис. 6. Эмпирическая вероятность осевых усилий на уклоне до 30 % при статической нагрузке

Таблица

Результаты статистической обработки

Вид испытания	Математическое ожидание, тс	Среднеквадратическое отклонение, тс	Доверительный интервал математического ожидания (0,95)	Максимальные значения, тс
до 3 %	16,089	4,69	15,71...16,46	25,48
30 %	10,747	0,767	10,68...10,80	13,05

Анализ проведенных исследований показал, что взаимодействие башмака и вагона характеризуется высокочастотными колебаниями башмака (рис. 7) и сопровождается нагревом башмака (рис. 8). Характер силового воздействия в случае статической нагрузки на уклоне 30 % представлен на рис. 9, при динамическом – на рис. 10.

После прекращения четвертого опыта температурные напряжения в башмаке составили

150 МПа (рис. 11). Колебательный процесс башмака содержит низкочастотные (до 2 Гц) и высокочастотные (до 800 Гц) составляющие (рис. 12).

Максимальные напряжения в башмаке при силовом воздействии со стороны вагона не превысили 100 МПа, однако, с учетом температурных напряжений составили около 250 МПа.

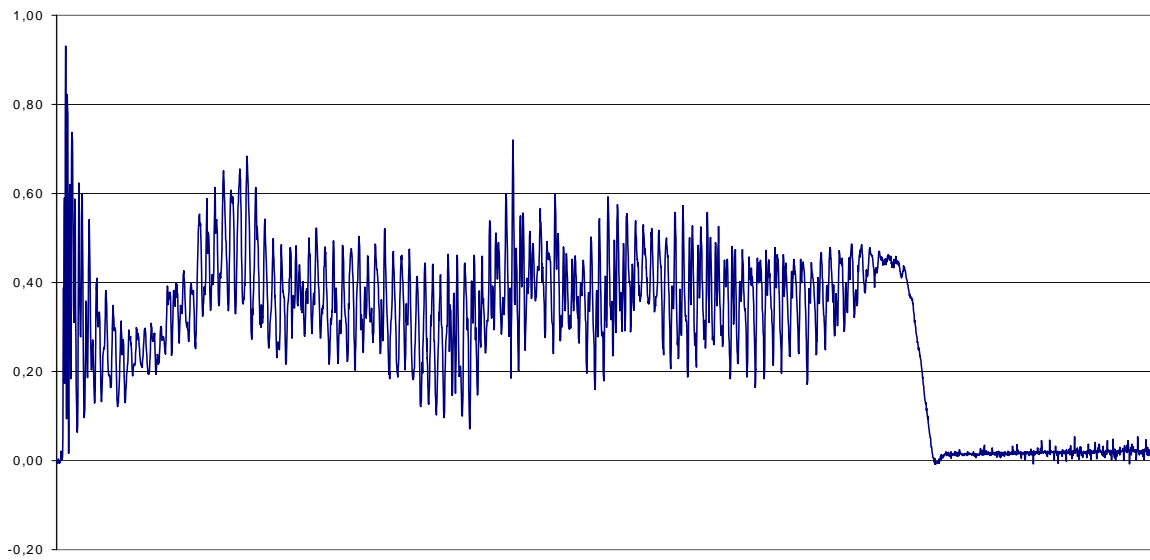


Рис. 7

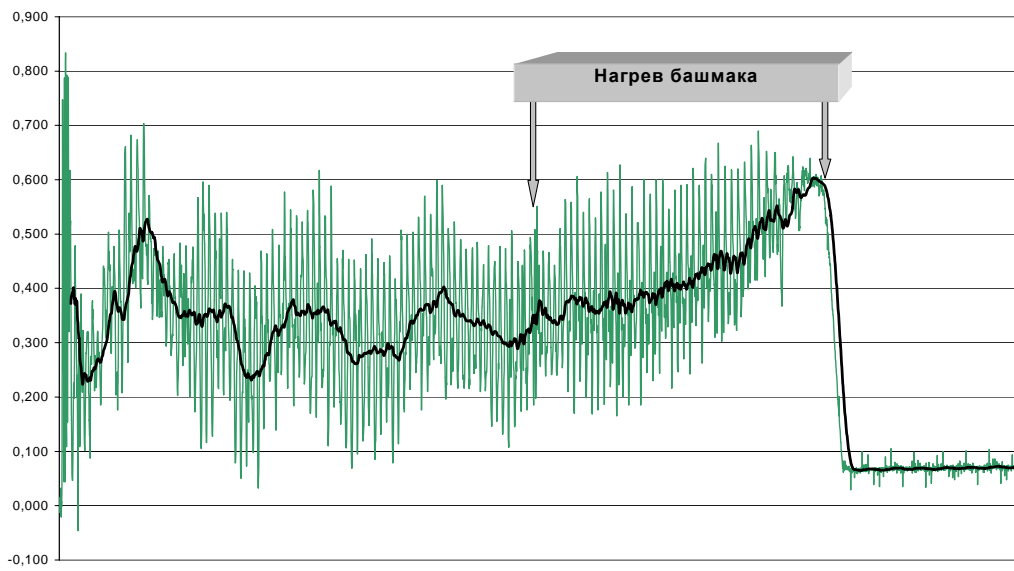


Рис. 8

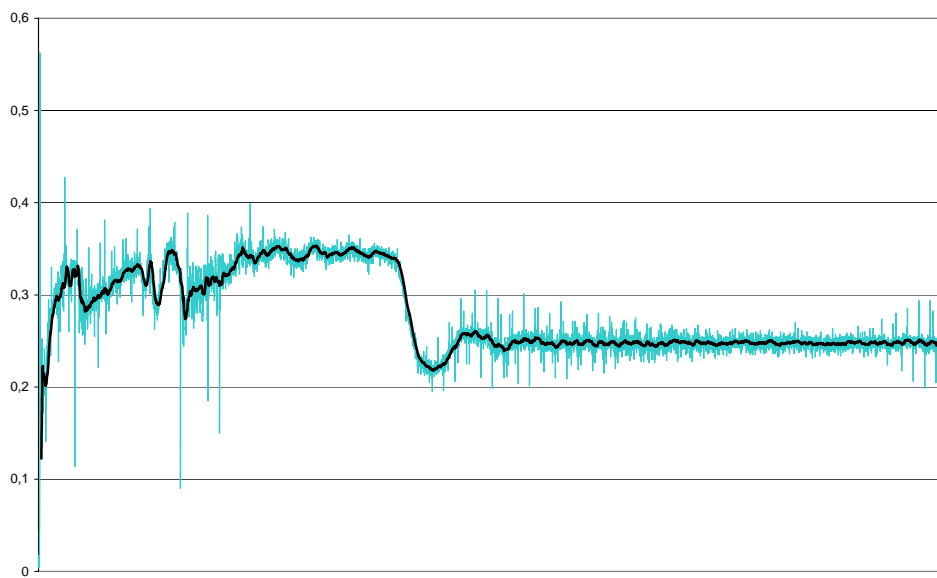


Рис. 9

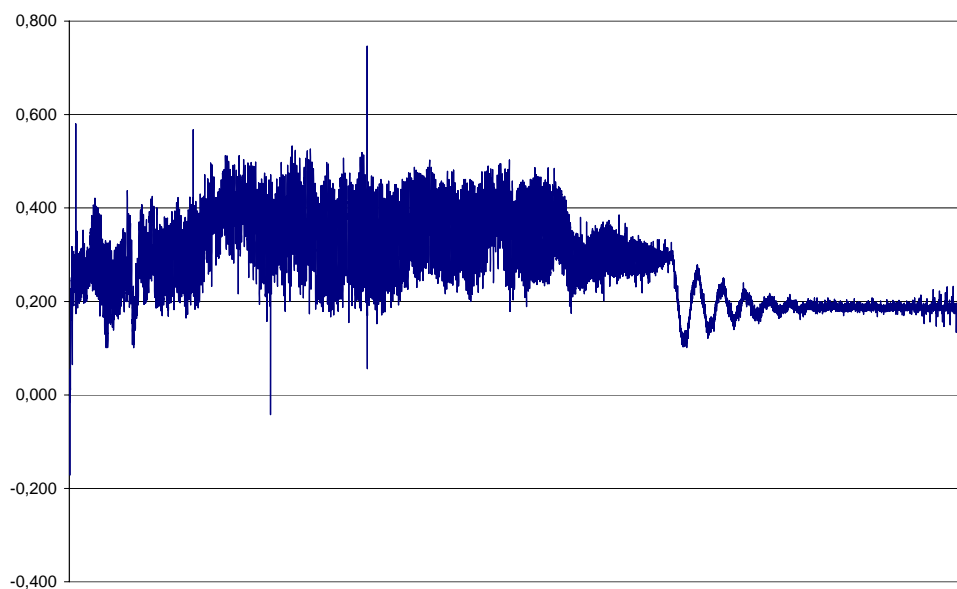


Рис. 10

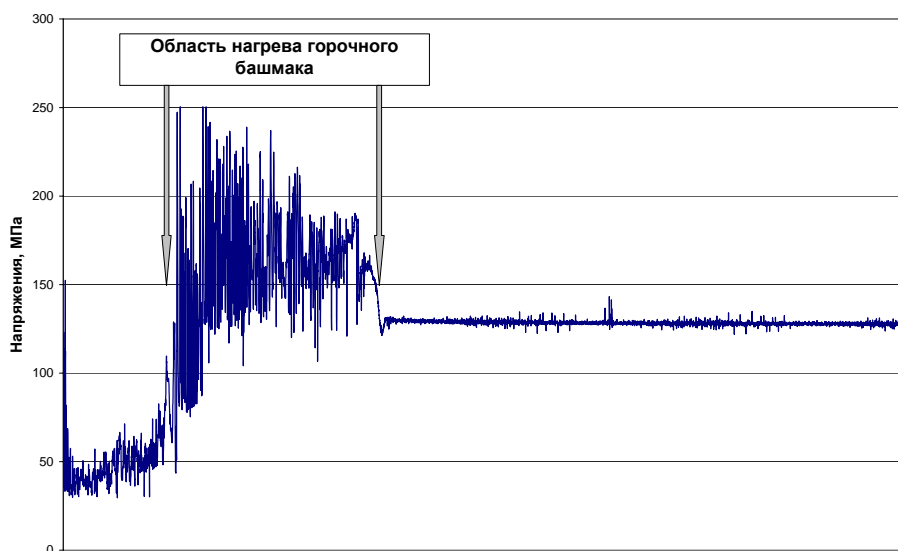


Рис. 11

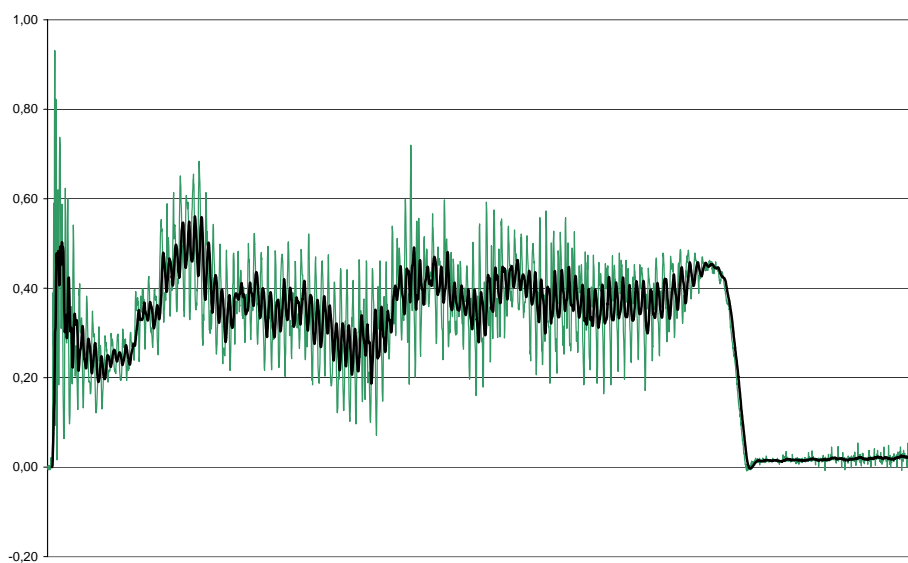


Рис. 12

На основании выполненных исследований установлено:

1. Взаимодействие вагона и башмака характеризуется сложным колебательным процессом, который содержит низкочастотные и высокочастотные составляющие амплитуд осевых усилий, действующих на башмак.

2. При определенных условиях температурные напряжения могут превысить динамические.

3. Максимальные осевые усилия не превышают 26 тс и 13 тс соответственно на уклонах до 3 и 30 ‰.

4. Максимальные динамические напряжения от осевых усилий не превышают 100 МПа,

однако, с учетом температурных могут составить значительную величину, что может привести к деформации башмака.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М. Н. Степнов. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985.
2. Е. Н. Львовский. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высш. шк., 1988.
3. Закс Лотар. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976.

Поступила в редколлегию 09.09.2005.

В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, С. В. БУРЫЛОВ, А. А. БУРЯК,
В. Ю. СКОСАРЬ, Е. Л. ВЫДУТАЯ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»),
Ю. И. СКОСАРЬ, Е. В. АНИКЕЕВ (ЗАО «ВЕСТА-Днепр»)

ФОРМИРОВАНИЕ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА

Розроблено пристрій для формування свинцево-кислотних акумуляторів, у якому використовується примусова керувана циркуляція електроліту. Пристрій сприяє досягненню ідентичності технічних характеристик акумуляторів. Завдяки цьому збільшується термін служби свинцево-кислотних акумуляторів і акумуляторних батарей.

Разработано устройство для формирования свинцево-кислотных аккумуляторов, в котором используется принудительная управляемая циркуляция электролита. Устройство способствует достижению идентичности технических характеристик аккумуляторов. Благодаря этому увеличивается срок службы свинцево-кислотных аккумуляторов и аккумуляторных батарей.

A device for formation of lead-acid accumulators has been developed, which employs a forced controlled circulation of the electrolyte. The device is aimed at equalizing the technical characteristics of the accumulators. It helps extend the lifetime of the lead-acid accumulators and the batteries.

Свинцово-кислотные аккумуляторы широко используются на железнодорожном транспорте в качестве автономных источников тока. Прежде всего, это: стационарные аккумуляторы для питания устройств автоматики, сигнализации, телемеханики, связи и др. потребителей постоянного тока; стартерные аккумуляторы для комплектования аккумуляторных батарей для пуска двигателей внутреннего сгорания тепловозов, а также питания цепей управления, освещения и другого электрооборудования при неработающем дизеле. Кроме того, свинцово-кислотные аккумуляторы могут быть использованы как вагонные для освещения пассажирских вагонов и кондиционирования воздуха.

Технические характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов в значительной мере определяются условиями их формирования (первого заряда) при изготовлении. В настоящее время формирование электродов свинцовых аккумуляторов проводят либо в специальных баках (баковое формирование), либо непосредственно в аккумуляторном корпусе (блочное формирование). Разновидностью блочного формирования является батарейное формирование, при котором формирование электродов проводится в составе аккумуляторной батареи [1]. Каждая технология формирования имеет свои преимущества и недостатки. Преимуществом бакового формирования является повы-

шенная идентичность технических характеристик электродов, сформированных в общем объеме электролита, к тому же – в условиях его избытка, перемешивания и максимальной однородности состава.

Недостатками такой технологии являются повышенная трудоемкость из-за неизбежности ручных операций установки электродов в баки и извлечения их из баков, а также увеличенный процент брака продукции из-за ненадежной временной приварки электродов к токоведущим шинам баков. Указанные недостатки преодолеваются в блочном формировании, поскольку в этом случае электроды надежно соединены с токоведущими деталями аккумулятора. Однако при использовании блочного формирования снижается идентичность технических характеристик электродов, сформированных в отдельных аккумуляторных ячейках, в условиях ограниченного объема электролита [2; 3].

Достижение идентичности характеристик электродов особенно важно для аккумуляторных батарей, поскольку в состав батареи входит несколько аккумуляторов. В процессе эксплуатации отличия в технических характеристиках аккумуляторов заметно ускоряют выход батареи из строя. Аккумулятор, конструктивно имеющий минимальную емкость, может оказаться в неблагоприятных условиях перезаряда или, наоборот, глубокого разряда, что приводит к его деградации и уменьшению емкости.

Поэтому актуальной представляется задача разработки такой технологии формирования свинцово-кислотных аккумуляторов, при которой сочетаются преимущества уже известных способов, а именно – достижение максимальной идентичности технических параметров аккумуляторов и отдельных электродов, низкая трудоемкость за счет полной автоматизации технологического процесса, пониженный процент брака продукции.

Указанная задача решалась различными способами, наиболее перспективными из которых можно считать технологии, основанные на принудительной циркуляции электролита в группе формируемых аккумуляторов [4; 5]. При этом электроды формируются в составе аккумуляторов и надежно соединены с токоведущими деталями изделия, а электролит циркулирует через все аккумуляторы группы, перемешиваясь и увеличивая однородность своего состава. Тем не менее, известные технологии

имеют ряд недостатков, к которым следует отнести следующие: отсутствие коррекции температурного режима при формировании изделий; последовательное гидравлическое соединение аккумуляторов, не обеспечивающее достаточной идентичности основных физических и химических параметров процесса формирования; отсутствие вакуумной обработки аккумуляторов перед заполнением электролитом и по окончании формирования, что ухудшает условия пропитки электродов и сепараторов, а также оставляет возможность накопления в них пузырьков газа.

Для устранения перечисленных недостатков и повышения эффективности предложенных технологий нами разработано устройство для формирования свинцово-кислотных аккумуляторов, в котором используется принудительная управляемая циркуляция электролита. На рис. 1 представлена подробная схема этого устройства.

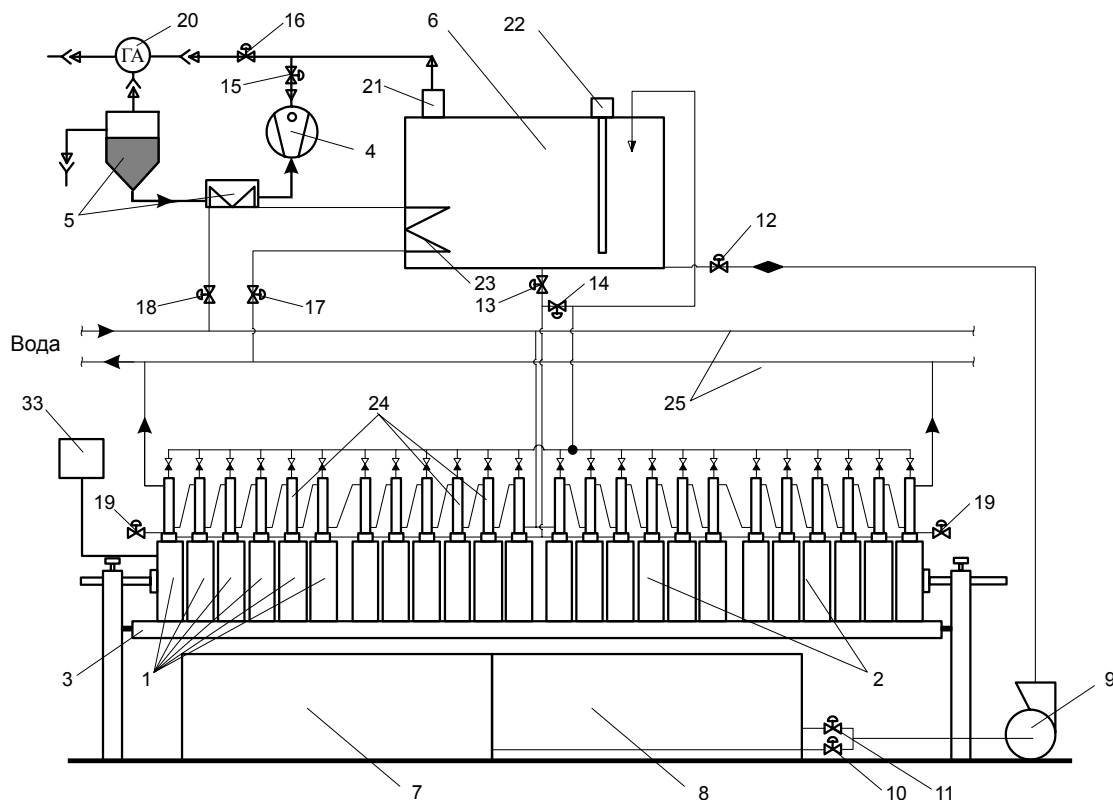


Рис. 1. Устройство для батарейного формирования

Аккумуляторы 1 собраны в группы 2 или батареи, установлены на технологическом столе 3 и подключены к замкнутому гидравлическому контуру, содержащему вакуумный насос 4 с блоком охлаждения 5, резервуар 6 с электролитом, питающие емкости 7 и 8, жидкостный насос 9 и систему управляемых клапанов (10–19), с помощью которых осуществляется оперативное управление потоками газов и жид-

костей (последовательность и согласованность их коммутации регламентированы технологическим процессом обработки изделий). На выходе гидравлического контура установлен газоанализатор 20. Резервуар 6 с электролитом снабжен штуцером 21 для откачки газов, датчиком уровня 22 и внутренним теплообменником 23.

Каждый аккумулятор оснащен внешним автономным теплообменником 24 контактного

Состав газовой смеси, выделяющейся при формировании аккумуляторов

Время, ч	Стадия формирования		Содержание газа в смеси, %			
			H ₂	O ₂	ÑO ₂	
До 4-х часов	пропитка электролитом		–	–	–	
5	(+) 50 %	(–) 50 %	0	83	–	
6			0	85	–	
7			0	85	15	
8			1	90	9	
9			5	81	14	
10			25	61	14	
11	(+) 30 %	(–) 30 %	64	27	9	
12		(–) H ₂		72	28	–
13				–	–	0
14				–	28	–
15			(+) O ₂		–	–
16			–	–	–	
17			72	28	0	

Примечание: (+) 50 % и (–) 50 % – выход по току реакций формирования положительного и отрицательного электродов, превышающий 50%; (+) 30% и (–) 30 % – выход по току реакций формирования положительного и отрицательного электродов, превышающий 30%; (+) O₂ и (–) H₂ – стадии деформирования и интенсивного выделения кислорода и водорода.

Локальные автономные теплообменники 24 с водяным охлаждением ускоряют процесс охлаждения электролита, что дает возможность проводить формирование токами высокой плотности и ускорить всю технологическую операцию. Теплообменник 23 включают только при необходимости дополнительного охлаждения электролита и общей коррекции температурного режима.

Оценка параметров автономного теплообменника 24 производилась по следующей формуле в предположении ламинарного течения жидкости [6]:

$$N_{ud} = \alpha d / \lambda \approx 3,7 - 4,4$$

где α – коэффициент теплоотдачи вода – материал трубки 26; d – средний диаметр трубки 26; λ – коэффициент теплопроводности воды.

Устройство для формирования позволяет управлять формирующим процессом, способствует стабилизации и усреднению параметров формирования в аккумуляторах, а также максимальной идентичности технических характеристик аккумуляторов. Это продлевает срок службы свинцово-кислотных аккумуляторов и аккумуляторных батарей [7; 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дасоян М. А. Основы расчета, конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов / М. А. Дасоян, И. А. Агуф. – Л.: Энергия, 1978. – 152 с.
2. Русин А. И. Основы технологии свинцовых аккумуляторов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 184 с.
3. Дзензерський В. О. Прискорені технології батарейного формування свинцево-кислотних акумуляторних батарей / В. О. Дзензерський, С. В. Васильєв, М. М. Хачапуридзе, С. В. Бурилов, В. Ю. Скосар / Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України. – К., – 2002. – № 6. – С. 25–35.
4. А.с. СССР № 1653030, МКП⁵ H01M 2/36, 1991, бюл. № 20.
5. А.с. СССР № 1292566, МКП⁵ H01M 10/04, 10/50, 1985.
6. Исаченко В. П. Теплопередача. Изд-е 4-е. / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.
7. Патент України № 54270 А, МПК⁷ H01M 10/50, 10/44, H02J 7/00, 2003, бюл. № 2.
8. Патент РФ № 2250539, МПК⁷ H01M 10/12, 2/36, 2005, бюл. № 11.

Поступила в редколлегию 18.07.2005.

О ВЛИЯНИИ РАЗДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ НА КОЛЕБАНИЯ ЭКИПАЖА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Розглянуто спільні вертикальні та бічні коливання надпровідного магніту, що рухається в системі електродинамічної левітації з дискретною шляховою структурою. Досліджено вплив поділу магнітних потоків у магніті, що рухається, на його коливальні процеси. Показано, що введення додаткових надпровідних контурів дозволяє змінювати частоти вертикальних коливань магніту.

Рассмотрены совместные вертикальные и боковые колебания движущегося сверхпроводящего магнита в системе электродинамической левитации с дискретной путевой структурой. Исследовано влияние разделения магнитных потоков в движущемся магните на его колебательные процессы. Показано, что введение дополнительных сверхпроводящих контуров позволяет перестроить собственные частоты вертикальных колебаний магнита.

The joint vertical and lateral oscillations of a moving superconductive magnet in the electrodynamic levitation system with the discrete track structure have been researched. There has also been studied the effect of magnet flow separation into oscillation processes in the moving magnet. It has been shown that introduction of the extra superconductive coils enables to modify the own frequencies of vertical magnet oscillations.

Наиболее известным и хорошо установленным фактом в теории электродинамической левитации является неустойчивость вертикальных колебаний движущегося магнита [1; 2]. Неустойчивость левитирующего тела проявляется в виде слабого инкремента и имеет место как в случае использования в качестве путевой структуры сплошного токопроводящего полотна, так и дискретной путевой структуры, состоящей из короткозамкнутых токовых контуров.

Как показали многочисленные исследования, неустойчивость вертикальных колебаний в системах электродинамической левитации не может быть устранена без использования дополнительных механических демпфирующих устройств. Однако механические демпфирующие устройства [3] увеличивают массу системы, что неизбежно приводит к дополнительным энергетическим затратам.

Целью работы является исследование принципиальной возможности изменения частотных и амплитудных характеристик вертикальных и боковых колебаний сверхпроводящих магнитов за счет увеличения числа короткозамкнутых токовых сверхпроводящих контуров без применения вторичного демпфирования.

Постановка задачи формулируется следующим образом: рассматриваются вертикальные и боковые колебания тела, движущегося с постоянной скоростью V над дискретной путевой структурой, состоящей из короткозамкнутых электрических контуров. Короткозамкнутые контуры расположены независимо друг от друга. Расстояние между путевыми контурами dd задано.

Как известно, движение тела вдоль такой путевой структуры приводит к его левитации.

При решении поставленной задачи были использованы следующие допущения. Движущийся экипаж был представлен прямоугольной токовой рамкой длиной l_0 , шириной b_0 ; при расчете коэффициентов самоиндукции сечения проводников считались бесконечно малыми; явление поверхностного эффекта не учитывалось. Влияние путевых дискретных контуров друг на друга также не учитывается, так как это влияние обычно незначительно (порядка нескольких процентов от величины тока, наводимого в дискретном путевом контуре движущимся магнитом). Изучается случай левитации материальной точки в двухмерном магнитном поле.

Для моделирования разветвления магнитного потока в движущемся бортовом магните токовая рамка с некоторым фиксированным током I_0 делится на две соосные рамки с токами I_{01} и I_{02} ($I_{01} + I_{02} = I_0$), расположенными на расстоянии d друг от друга [4].

Уравнения, описывающие вертикальные боковые колебания движущегося тела в системе электродинамической левитации, имеют вид:

$$m\ddot{z} = -mg + F_z, \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = F_y, \quad (2)$$

где m – масса сверхпроводящего магнита; z – вертикальная координата его центра масс; y –

координата центра масс магнита в боковом направлении; g – ускорение силы тяжести; F_z – сила взаимодействия магнита с вихревыми токами, наводимыми в дискретной путевой структуре при движении магнита; F_y – сила, действующая в боковом направлении на движущийся токовый контур.

Сила взаимодействия в вертикальном направлении F_z для разветвленного магнитного потока может быть представлена в виде

$$F_z = I_{01} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{01i}(Vt - x_i, z, y)}{\partial z} + I_{02} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{02i}(Vt - x_i, z + d, y)}{\partial z}. \quad (3)$$

Выражение для силы, действующей в боковом направлении, будет иметь подобный вид

$$F_y = I_{01} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{01i}(Vt - x_i, z, y)}{\partial y} + I_{02} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{02i}(Vt - x_i, z + d, y)}{\partial y}, \quad (4)$$

где d – расстояние между магнитосвязанными контурами; Vt – текущая координата тела в горизонтальном направлении; I_i – токи, наводимые в контурах путевой структуры; M_{01i} и M_{02i} – коэффициенты взаимной индуктивности между движущимся сверхпроводящим магнитом и короткозамкнутыми контурами дискретной путевой структуры.

Для переходных процессов в короткозамкнутых контурах справедливы уравнения

$$L_k \frac{dI_k}{dt} + \sum_{i=1}^N I_i \frac{dM_{ik}}{dt} + R_k I_k = - \left(I_{01} \frac{dM_{01k}}{dt} + I_{02} \frac{dM_{02k}}{dt} \right) \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где L_k , R_k – собственная индуктивность и сопротивление контура; N – число контуров дискретной путевой структуры.

Выражения для коэффициентов взаимной индуктивности и самоиндуктивности соосных короткозамкнутых токовых рамок дискретной путевой структуры и движущегося сверхпроводящего магнита, имеющих одинаковую ширину, взяты соответственно из работ [5; 6].

В соотношение (5) входит изменение коэффициента взаимной индуктивности в зависимости от времени, которое определяется по формуле

$$\frac{dM_{ik}}{dt} = \frac{\partial M_{ik}}{\partial x} V + \frac{\partial M_{ik}}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial M_{ik}}{\partial y} \frac{dy}{dt}.$$

Нетрудно видеть, что уравнения (1), (2) и уравнение (5) являются связанными только через коэффициенты взаимной индуктивности $M(Vt - x, z, y)$.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (1)–(5) была дополнена начальными условиями, которые задавались в виде:

$$z|_{t=0} = h_0 + \Delta z_0, \quad \dot{z}|_{t=0} = \dot{z}_0,$$

$$y|_{t=0} = y_0, \quad \dot{y}|_{t=0} = \dot{y}_0, \quad I_k|_{t=0} = 0.$$

Данная расчетная модель была использована для исследования вертикальных и боковых колебаний в системе электродинамической левитации с дискретной путевой структурой и разветвлением магнитного потока в движущемся магните. Устойчивость системы отслеживалась на основании поведения зависимостей $z(t)$, $y(t)$. Одновременно мы отслеживали и временные зависимости сил, действующих на движущуюся токовую рамку при одновременном возмущении в z и y направлениях.

Рассматривались колебания единичного магнита. В движущемся магните ток равнялся $I_0 = 10^5$ А. Во всех расчетах длина подвижной рамки варьировалась от $l_0 = 0,3$ м до $l_0 = 1$ м, ширина $b_0 = 0,3$ м. В качестве путевых контуров были выбраны квадратные токовые рамки длиной $l_i = 0,3$ м, выполненные из алюминиевой проволоки радиусом $\delta_i = 0,15$ м. Расстояние между рамками dd варьировалось.

Отметим, что масса левитирующего магнита определялась из условия его равновесия

$$mg = \sum_{i=1}^N I_{01} I_i \frac{dM_{01i}(z)}{dz} + \sum_{i=1}^N I_{02} I_i \frac{dM_{02i}(z)}{dz}.$$

Система уравнений (1)–(5) интегрировалась методом Рунге-Кутты в широком диапазоне изменения входных параметров.

Результаты расчетов показали, что вертикальные колебания единичного магнита являются неустойчивыми для всех значений параметров, но величина амплитуды существенно зависит от параметров l_0 и dd . С уменьшением длины движущегося магнита уменьшается амплитуда его вертикальных колебаний, а при длине l_0 соизмеримой с длиной токовой рамки дискретной путевой структуры наблюдается

изменение фазы вертикальных колебаний. При этом частота вертикальных колебаний практически остается неизменной.

Изменение в зависимости от времени амплитуды вертикальных и боковых колебаний бортового магнита длиной $l_0 = 1$ м, массой 130 кг, движущегося со скоростью 100 м/с показано на рис. 1 и 2. Расстояние между контурами путевой структуры в этих расчетах составляет 0,03 м.

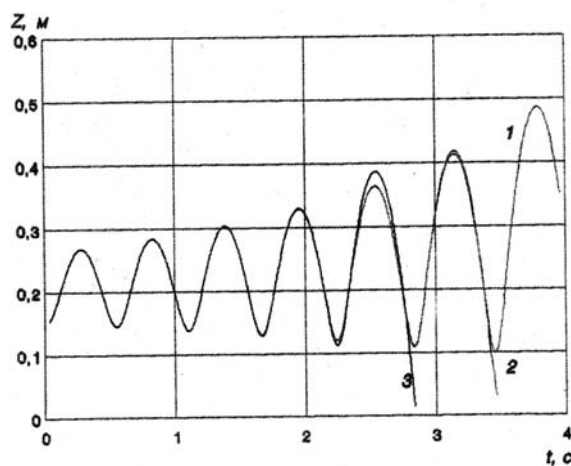


Рис. 1. Амплитуда вертикальных колебаний магнита

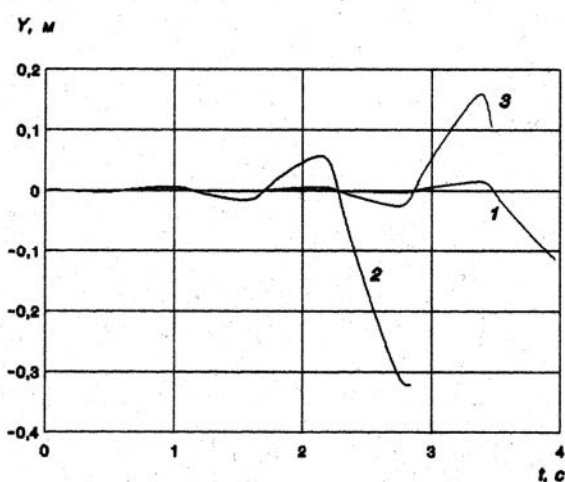


Рис. 2. Амплитуда боковых колебаний магнита

На указанных рисунках кривые 1 соответствуют возмущению $y_0 = 0,00001$ м, кривые 2 – $y_0 = 0,0001$ м, кривые 3 – $y_0 = 0,001$ м.

Отметим, что величина амплитуды боковых колебаний оказывается значительно ниже амплитуды вертикальных колебаний сверхпроводящего магнита. Влияние возмущений по оси Y сказывается незначительно на вертикальные колебания. Однако наличие боковых возмущений достаточно часто приводит к разрушению подвеса (см. рис. 2).

Далее было исследовано влияние разветвления магнитного потока в бортовом сверхпроводящем

магните на колебательные процессы в указанной системе электродинамической левитации.

Как показали расчеты, разделение магнитных потоков в системах электродинамической левитации по указанному принципу позволяет существенно изменить амплитуду и частоту вертикальных незатухающих колебаний.

Например, если взять отношение токов равным $I_{02}/I_{01} = 2$, то амплитуда незатухающих колебаний становится приблизительно в 3 раза меньше по сравнению с неразделенным магнитным потоком, при этом инкремент незатухающих колебаний изменяется незначительно (инкремент незатухающих колебаний имеет минимум в зависимости от величины I_{02}/I_{01} , координата минимума изменяется в зависимости от скорости движения V). Кроме того, при разделении магнитных потоков, меняется фаза незатухающих колебаний. Следовательно, при необходимости фазовый сдвиг вертикальных колебаний можно произвести только за счет разветвления магнитного потока в движущемся магните.

Проведенные расчеты показали, что разветвление магнитного потока в бортовом сверхпроводящем магните по указанному принципу совершенно не влияет на характер боковых колебаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байко А. В. О вертикальной неустойчивости в системах электродинамического подвешивания экипажей ВСНТ / А. В. Байко, К. Э. Воеводский // Изв. ВУЗов СССР. Электромеханика. – 1979. – № 11. – С. 983–990.
2. Кочетков В. М. Теория электродинамической левитации. Основные результаты и дальнейшие задачи / В. М. Кочетков, К. И. Ким, И. И. Трещев // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1981. – № 1. – С. 72–91.
3. Дзензерский В. А. Устойчивость вертикальных колебаний в системах электродинамического подвеса с дискретной путевой структурой / В. А. Дзензерский, А. А. Зевин, Л. А. Филоненко // Прикладная механика. – 1995. – Т. 31 – № 7. – С. 88–93.
4. Горский О. И. Частотные характеристики многоконтурных систем подвешивания / О. И. Горский, В. А. Дзензерский, Э. А. Зельдина // Изв. РАН: Энергетика и транспорт, – 1992. – Т. 38. – С. 125–129.
5. Kratki N., Oberreti K. Ausgleichs organge and schwingungen beimelec namischen magnetkissen system // archiv fur elecrutechnik BRD. – 1975. – V. 67, N 2. – P. 59–64.
6. Каланторов М. Л. Расчет индуктивностей / М. Л. Каланторов, А. Л. Цейтлин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 487 с.

Поступила в редколлегию 10.11.2005.

А. Н. ЗАЙЦЕВ, В. Э. ВОСКОБОЙНИК, С. В. КОМАРОВ,
А. С. ВОРОШИЛОВ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИВОДА С ЛИНЕЙНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Досліджувалась математична модель електропривода з лінійним синхронним двигуном в перехідних режимах. Одержані результати моделювання. Модель дозволяє досліджувати електромеханічні і теплові процеси в лінійному електроприводі з урахуванням особливостей конструкції та значення параметрів.

Исследовалась математическая модель электропривода с линейным синхронным двигателем в переходных режимах. Получены результаты моделирования. Модель позволяет исследовать электромеханические и тепловые процессы в линейном электроприводе с учетом особенностей конструкции и значения параметров.

The article has investigated a mathematical model of an electric drive with linear synchronous motor in transition regimes. Results of the modelling have been presented. The model allows to investigate electromechanical and thermal processes in the linear electric drive in view of structural features and the values of parameters.

В настоящее время все большее внимание уделяется транспортным системам с магнитным подвесом. В мире существуют два типа таких систем, доведенных до стадии коммерческой эксплуатации. Это германская система Transrapid (электромагнитный подвес) и японская ML (электродинамический подвес).

Практическая реализация этих систем стала возможной благодаря современному состоянию таких высоких технологий с использованием преобразовательной и микропроцессорной техники, а также технической сверхпроводимости, без которой невозможно реализовать подвес с требуемыми параметрами [1].

Динамика движения транспортных средств (ТС) таких систем во многом определяется характеристиками линейного электропривода. При разработке систем высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ) с тяговыми линейными синхронными двигателями (ЛСД) возникает задача выбора наиболее рациональных параметров способов разгона и торможения ТС. Решение этого вопроса имеет прямое отношение к схеме управления движением ТС и позволяет определить требования, предъявляемые к источникам питания путевой обмотки как в установившихся, так и в переходных режимах работы [2].

Для исследования линейного синхронного двигателя (ЛСД) линейного стенда ИТСТ НАН Украины «Трансмаг» в переходных и установившихся режимах, ранее, была разработана

базовая модель, в которой обмотка статора ЛСД подключается к симметричному трехфазному источнику напряжения или тока. Ротор (транспортное средство) содержит блоки постоянных магнитов, используемых в качестве возбудителя. ЛСД описывается с помощью метода пространственного вектора, который позволяет связать полученные уравнения в единую систему.

В базовой модели [3] рассматривалась возможность подключения ЛСД к силовому полупроводниковому преобразователю. Основным назначением полупроводникового преобразователя является регулирование скорости и момента исполнительного двигателя ЭП. В ЭП переменного тока необходимо регулировать напряжение и частоту на выходе преобразователя по определенному закону. Поэтому целью работы является разработка модели преобразователя, в которой можно учитывать различные конструктивные особенности и возможности изменения и измерения параметров для переходных, квазиустановившихся и установившихся режимов работы.

В предложенном варианте в модель электропривода с линейным синхронным двигателем добавлено звено силового полупроводникового преобразователя напряжения (рис. 1, выделен штриховкой).

Преобразователь и двигатель можно представить посредством структурной модели и исследовать в общедоступных прикладных пакетах.

Описание модели вентильного двигателя с силовым преобразователем

В системе (блоки 3Sum, 4Sum, см. рис. 1) в начальный момент времени $t = 0$ подается вектор напряжения, представленный в неподвижной системе координат. Это напряжение можно получить следующим образом.

Управление значением амплитуды напряжения (с блока Um рис. 2) подается на управляемый источник напряжения (блок Con Volt Source), выход которого подключен к преобразователю (блок Un Bridge). Блок Un Bridge в своей схеме может содержать идеальные силовые ключи. Затем трехфазное напряжение, полученное в блоке Un Bridge с помощью преобразователя координат (блок Sub3x2), преобразуется в систему неподвижных координат α, β

и подается на упомянутые выше блоки (блоки 3Sum, 4Sum). Блок Puls1 формирует заданную логическую последовательность импульсов для управления силовыми ключами преобразователя Un Bridge. Одновременно на Блок Puls1 подается сумма сигналов с блока Constant и сигнал Ugol пропорциональный фазовому углу вектора выходного напряжения, который можно получить из модели двигателя. Учтено, что угол поворота вала двигателя нельзя представлять как vt (базовая модель [3]), так как при уменьшении скорости v и возрастании времени t возможен вариант, когда их произведение остается постоянным, т. е. фазовый угол не изменяется. В действительности скорость вращения вала не равна нулю и угол должен расти. Поэтому угол поворота вала двигателя определяется как интеграл скорости (блок Integrator, см. рис. 1).

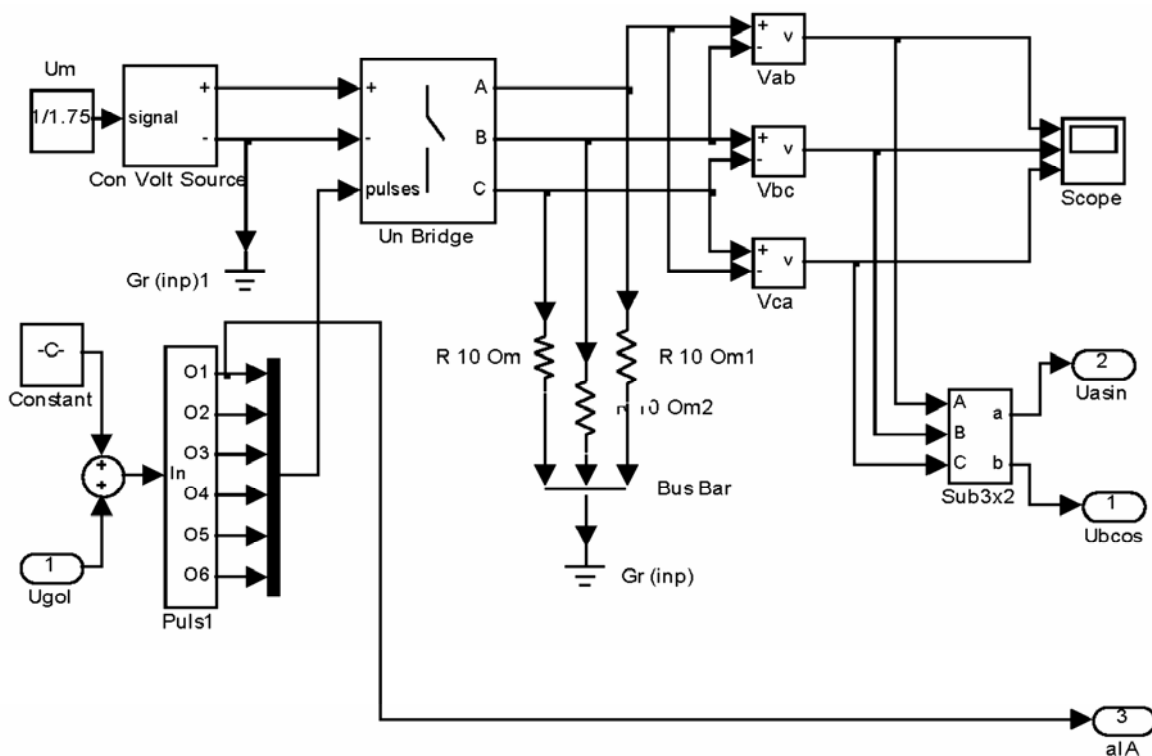


Рис. 2. Модель преобразователя

В модели вентильного двигателя в относительных единицах амплитуда напряжения двигателя равна единице. Если начальная фаза напряжения равна нулю, то движения не будет. Шесть переключений за период – это шаг $\pi/3$. Первое постоянное смещение, которое подается на вход Ugol, величиной $\pi/3$ повернет вектор напряжения в исходном состоянии на 60 эл. град. Угол поворота двигателя после этого увеличивается в положительном направлении.

Блок Multimeter позволяет измерять напряжения и токи каждого силового ключа в преобразователе напряжения.

Выход a1A в силовом преобразователе (см. рис. 1) предусмотрен для последующих исследований единичного силового ключа.

Исследование модели вентильного двигателя с силовым преобразователем

Модель привода (см. рис. 1) содержит силовой преобразователь, собранный на базе автономного инвертора напряжения с идеальными ключами. Для исследования такой модели применена начальная фазировка управляющих сигналов со значением $\pi/3 + \alpha$ (α – регулируемое смещение угла), которая устанавливается в блоке Constant (см. рис. 2).

Относительные значения токов $i_{S\alpha}$, $i_{S\beta}$ снимаются непосредственно с выходов блоков 1TF и 2TF и подаются для измерения на осциллоскоп 1SC Score. Сигналы силы тяги и скорости снимаются с выходов блоков 5Sum, 3TF. Измерения производятся блоком 1SC. Результаты моделирования представлены осциллограммами на рис. 3.

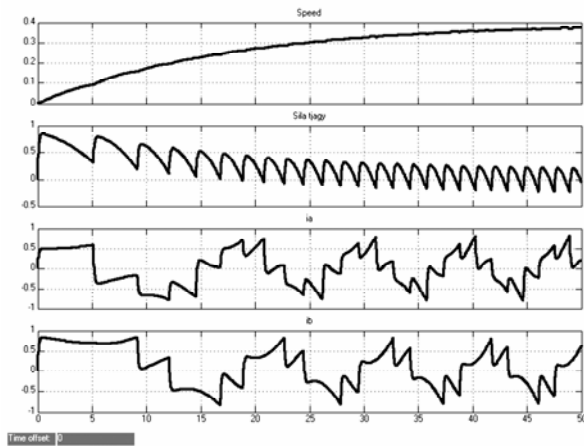


Рис. 3. Результаты моделирования при величине $\alpha = 0$

Скорость изменяет свое значение от нуля до установившегося значения. Момент, совершая колебательные движения, достигает 0,8 номинального значения, а затем снижается и переходит в квазиустановившийся режим.

Без дополнительного регулирования изменения среднего значения момента происходят по экспоненте.

Годограф пространственного вектора напряжения инвертора (показания измеряются блоком XY Graph) образует равносторонний шестиугольник (рис.4).

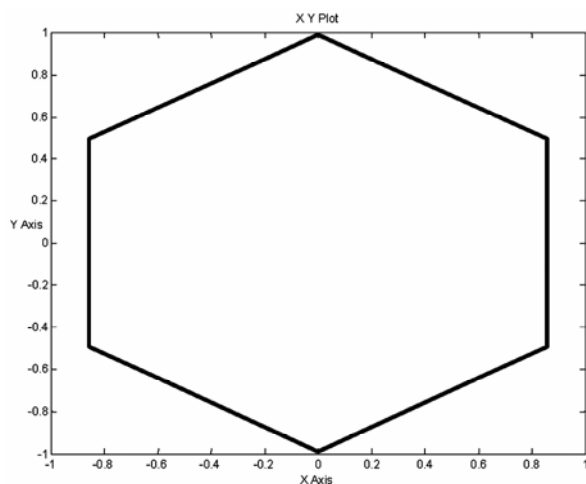


Рис. 4. Годограф пространственного вектора напряжения

Для $\alpha = +0,5235$ получены другие результаты моделирования (рис. 5).

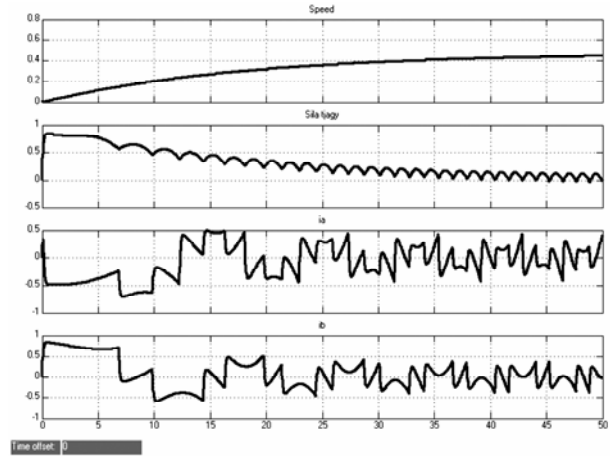


Рис. 5. Результаты моделирования при величине $\alpha = +0,5235$

Для $\alpha = +0,5236$ можно получить результаты моделирования по рис. 6.

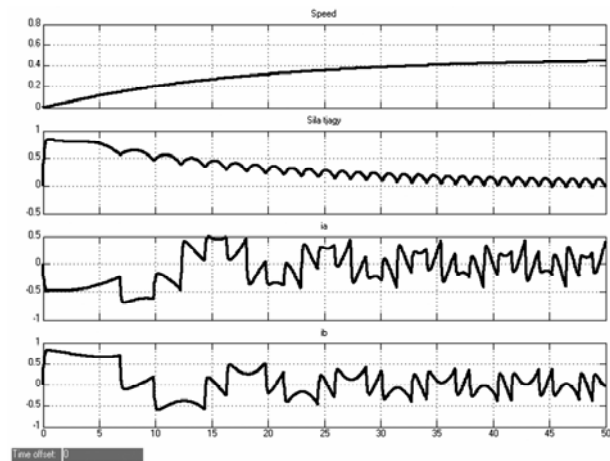


Рис. 6. Результаты моделирования при величине $\alpha = +0,5236$

Годограф пространственного вектора напряжения аналогичен изображению на рис.4. Однако пространственный вектор напряжения начинает переключение на 60 эл.град позже. Причем пуск происходит с током $i_{S\alpha}$ противоположного знака в начальный момент времени.

Анализируя осциллограммы результатов моделирования, приведенные на рис. 3, 5, 6, можно определенно сказать, что переходной процесс при включении вентильного двигателя улучшается с изменением значения начальной фазировки α от 0 до значения $+0,5235$.

Оптимальным для исследованных параметров является $\alpha = +0,5235$, при котором переходной процесс имеет наилучшие качественные показатели.

Скорость переключения электронного элемента зависит от сопротивления содержащегося в его цепи. При этом задний фронт импульса имеет

нелинейность. Чем меньше нелинейность, тем выше скорость переключения. Как следствие уменьшаются динамическое сопротивление и потери мощности на электронном элементе.

Достаточно просто создать модель вентильного двигателя с силовым преобразователем на базе автономного инвертора тока с идеальными ключами. Для этого в модели необходимо заменить управляемый источник напряжения (блок *Con Volt Source*, см. рис. 2) на управляемый источник тока. Остальные блоки модели остаются без изменения.

Достаточно просто заменяются электронные элементы силового преобразователя. Кроме идеальных силовых ключей в модели преобразователя можно устанавливать другие электронные элементы. Модель содержит преобразователь и позволяет анализировать различные способы коммутации различных электронных элементов (тиристоры, IGBT, MOSFET). Допускаются вариации параметров и изменения скорости переключения элементов. Можно получать реальные кривые токов и производить спектральный анализ гармоник тока и напряжения.

В данной статье рассмотрена работоспособная модель силового преобразователя вентильного двигателя, который может содержать автономный инвертор напряжения или тока. Получены результаты моделирования переходных процессов при совместной работе преобразователя и вентильного двигателя.

Установлено, что с помощью программных методов управления преобразователем можно улучшить гармонический состав токов, снизить потери мощности, уменьшить энергозатраты на перемещение транспортного средства.

Получены результаты моделирования, которые позволяют оценить качество тягового усилия и гармонического состава токов в преобразователе и в питающей сети от параметров системы и режимов движения.

В модели предусмотрена возможность получения исходных данных для расчета температуры силовых элементов преобразователя. С помощью измерительных блоков можно получить напряжение и ток, протекающие непосредственно в каждом силовом ключе. Перемножив их, можно получить потери мощности силового ключа. Если подставить полученную мощность в тепловую модель (не рассматривается в данной статье) можно получить температуру отдельно взятого силового ключа преобразователя.

Результаты показывают специфические особенности электромагнитных и механических процессов, которые требуют дополнительных исследований с целью оптимизации параметров и режимов работы электропривода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзензерский В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев и др.; Под общей ред. В. А. Дзензерского, В. И. Омеляненко. – К.: Наукова думка. – 2001. – 479 с.
2. Зайцев А. Н. Энергетические характеристики режимов разгона транспортных экипажей на магнитном подвесе / А. Н. Зайцев, С. В. Комаров, А. С. Ворошилов. // Транспорт: Зб. наук. праць. – Вып. 9. – Д., 2001. – 180 с.
3. Зайцев А. Н. Разработка математической модели привода с линейным синхронным двигателем для исследования переходных режимов / А. Н. Зайцев, В. Э. Воскобойник, С. В. Комаров и др. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. імені акад. В. Лазаряна. – Вип. 5. – Д: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2004. – 240 с.

Поступила в редколлегию 16.12.2005.

В. Н. СТАРЧЕНКО (ВНУ им. В. Даля)

РАСЧЕТ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦИОННЫХ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Наведено теорія і методика розрахунку пружних характеристик та технічних констант фрикційних вуглецевих композиційних матеріалів просторово армованих прямими стержнями малого діаметру. Виконано аналіз результатів розрахунків і порівняння структур 3-D та 4-DL, надана оцінка точності запропонованої методики.

Приведены теория и методика расчета упругих характеристик и технических констант фрикционных углеродных композиционных материалов пространственно армированных прямыми стержнями малого диаметра. Выполнены анализ результатов расчета и сравнение структур 3-D и 4-DL, дана оценка точности предлагаемой методики.

The theory and design procedure of elastic characteristics and technical constants of frictional carbon - carbon composite materials, spatially reinforced by direct small diameter rods, have been presented. An analysis of the calculations output and comparison of the 3-D and 4-DL structures have been executed; an estimation of the accuracy of the proposed technique has been presented.

Общей тенденцией развития и совершенствования железнодорожного транспорта является повышение мощности тяговых единиц подвижного состава и скорости движения поездов.

В этих условиях проблема торможения приобретает особую актуальность, поскольку необходимо обеспечить не только безопасность движения и достаточно энергоемкое погашение кинетической энергии, но и выполнить жесткие нормативные требования по длине тормозного пути и величине замедления.

В единую систему торможения скоростных поездов могут устанавливаться различные тормоза: электрический (рекуперативный и/или реостатный), вихретоковый, магниторельсовый и механический (фрикционно-дисковый или колодочный), при этом долевое участие последних составляет около 50 % и они по-прежнему незаменимы по условиям безопасности движения (в случаях отключения сети, энергетической силовой установки и т. д.).

Основным звеном, обеспечивающим эффективную, стабильную и надежную работу механического тормоза, является фрикционное сопряжение: тормозная колодка (накладка) – ходовые колеса тормозных осей или тормозной диск. В качестве фрикционных материалов для тормозных колодок и накладок используются: чугуны (серый, перлитный, фосфористый) различных модификаций с добавлением Cr, Cu, Mo, Ni, V, P и др.; композиты в виде сочетания связующего (смола или каучук) с волокнами, минеральными и органическими наполнителями разного вида и про-

центного содержания; металлокерамика – на основе железа, бронзы или меди. Тормозные диски изготавливаются из чугуна серого или с шаровидным графитом; легированной стали; алюминия, армированного карбидом кремния SiC; в качестве нового материала – угольно-силиконовые карбидные диски (carbon-silicon carbide) [1–5].

Общим недостатком известных фрикционных сопряжений является существенное снижение эффективности работы в зависимости от удельной нагрузки, скорости скольжения и температуры контактной поверхности.

Более высокий и стабильный коэффициент трения при любых режимах торможения, высокие износостойкость и теплопроводность, теплостойкость и прочность, а также совместимость работы с контртелом показали новые тормозные колодки, изготовленные на основе углеродной матрицы с армирующим каркасом из высокопрочных углеродных волокон и газоплазменным насыщением [6; 7].

Целью предлагаемой работы является разработка теории и методики расчета упругих характеристик фрикционного пространственно армированного прямыми волокнами углеродного композиционного материала (КМ).

Рассматриваются наиболее перспективные материалы на основе трехнаправленной (3-D) и четырехнаправленной (4-DL) текстур, основой которых является армирующий каркас из однонаправленных углеродных стержней малого диаметра, размещенных в плоскости слоя и перпендикулярно к нему, что дает ряд преимуществ в сравнении со слоистыми структурами.

Анализ схем армирования показал, что у этой группы материалов можно выделить повторяющийся элемент в виде плоского слоя, характерной особенностью которого является наличие волокон двух направлений: в плоскости слоя и перпендикулярно к нему. Если в каждом слое пренебречь неоднородностью структуры и определить его эффективные характеристики как квазиоднородного материала, то деформационная модель КМ с пространственным расположением арматуры может рассматриваться в виде неоднородного блока, состоящего из элементарных слоев, которые могут различаться по ориентации и содержанию арматуры в плоскости слоя.

Упругие характеристики каждого из слоев определяются свойствами компонентов и их объемной концентрацией. Расчет характеристик ортогонально армированного двухмерного слоя волокнистого композита производится по формулам для однонаправленного композита, но характеристики модифицированной матрицы предварительно рассчитываются через свойства связующего и армирующих волокон ортогонального направления.

Расчет степени армирования. Объемный коэффициент для 3-D структуры при плотной ортогональной упаковке волокон различного диаметра (рис. 1) определится из выражения

$$\mu_{\Sigma} = \frac{\pi}{4} \left\{ \left[d_1^2 (d_2 + d_3) + d_2^2 (d_1 + d_3) + d_3^2 (d_1 + d_2) \right] / \left[(d_1 + d_2) \times (d_2 + d_3)(d_1 + d_3) \right] \right\},$$

при

$$d_1 = d_2 = d_3, \quad \mu_{\Sigma} = \frac{3}{16} \cdot \pi.$$

Если стержни имеют степень армирования φ , то $\mu_{пр} = \mu_{\Sigma} \cdot \varphi = 0,589\varphi$, тогда степень армирования по каждому из направлений

$$\mu_i = 0,333 \cdot 0,589\varphi = 0,196\varphi,$$

где 0,333 – доля волокон, уложенных в каждом из направлений, от общего объема волокнистой арматуры.

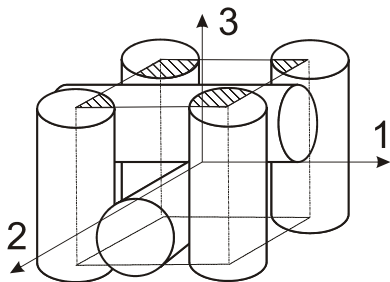


Рис. 1. Элемент объемной 3-D структуры

Для 4-DL структуры (рис. 2), где D и d – соответственно диаметры вертикально и горизонтально расположенных стержней, имеем

$$\mu_{\Sigma} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\sqrt{3}D^2 + 2d(d+D)}{(d+D)^2},$$

при

$$D = d, \quad \mu_{\Sigma} = \frac{\pi}{8} \left(\frac{\sqrt{3}}{4} + 1 \right) = 0,563,$$

тогда

$$\mu_{пр} = \mu_{\Sigma} \cdot \varphi = 0,563\varphi.$$

В направлении, перпендикулярном плоскости укладки (вертикальном)

$$\mu_3 = 0,302 \cdot 0,563\varphi = 0,17\varphi,$$

где 0,302 – доля волокон, уложенных в вертикальном направлении, от общего объема волокнистой арматуры.

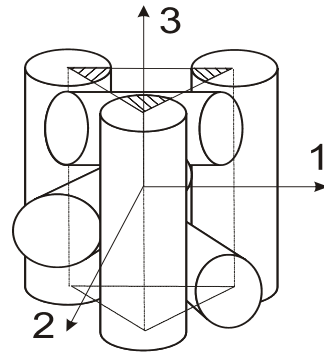


Рис. 2. Элемент объемной 4-DL структуры

Определение степени армирования каждого из слоев по направлениям (рис. 3–4).

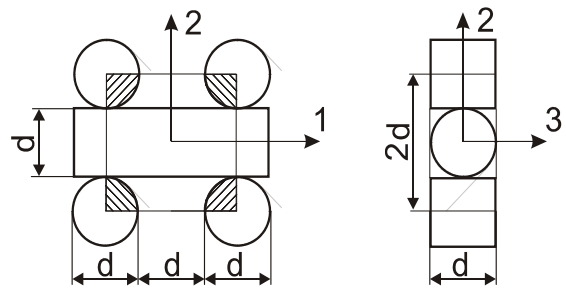


Рис. 3. Элемент слоя 3-D структуры

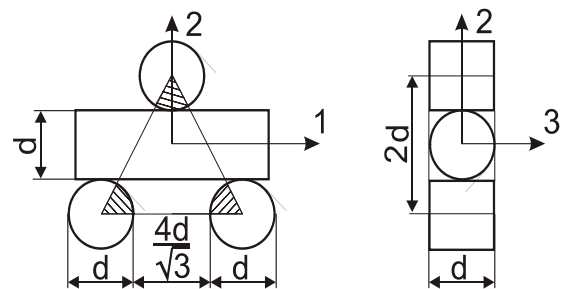


Рис. 4. Элемент слоя 4-DL структуры

3-D структура:

$$\mu_1 = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 2d^2} = \frac{\pi}{8} = 0,39; \quad \mu_2 = 0;$$

$$\mu_{1пр} = 0,39\varphi;$$

$$\mu_3 = \frac{\pi d_2^2}{4 \cdot 4d^2} = \frac{\pi}{16} = 0,196;$$

$$\mu_{3пр} = 0,196\varphi.$$

4-DL структура:

$$\mu_1 = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 2d^2} = \frac{\pi}{8} = 0,39; \quad \mu_2 = 0;$$

$$\mu_{1пр} = 0,39\varphi;$$

$$\mu_3 = \frac{\pi d^2 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}}{8 \cdot 4d \cdot 2d} = \frac{\pi \sqrt{3}}{32} = 0,17;$$

$$\mu_{3пр} = 0,17\varphi.$$

Расчеты показывают, что для плоского монослоя степень армирования в плоскости слоя постоянна и равна

$$\mu_{1пр} = 0,39\varphi,$$

а в вертикальном направлении совпадает со значением степени армирования по этому направлению.

Расчет характеристик модифицированной матрицы производится методом усреднения упругих свойств волокон, уложенных в направлениях, перпендикулярных направлению армирования и связующего. Последующий расчет деформативных характеристик слоистого материала определяется выбором направлений армирования, которые усредняются при модификации свойств матрицы или являются арматурой выделенного элементарного слоя.

Так, при расчете характеристик модифицированной матрицы в направлениях 1 и 2 в качестве модифицирующей арматуры выбирается арматура, уложенная в направлении 3, а при расчете характеристик модифицированной матрицы в направлении 3 в качестве модифицирующей арматуры выбирается арматура, уложенная в направлении 1.

Основные данные для расчета: E_a и E_c – модуль упругости армирующих волокон и матрицы (связующего); G_a и G_c – модуль сдвига соответственно; ν_a и ν_c – коэффициент Пуассона соответственно; φ – степень наполнения стержней, формирующих пространственную структуру,

армирующими волокнами; $\mu_1 = 0,39\varphi$ – степень армирования в направлении укладки волокон в слое; μ_3 – степень армирования в направлении, перпендикулярном слою.

Дополнительные данные:

$$n^0 = \frac{E_a}{E_c}; \quad m^0 = \frac{G_a}{G_c}.$$

Расчетные зависимости для определения модулей упругости и модулей сдвига модифицированной матрицы принимают вид:

$$E_1^* = \frac{[1 + (n^0 - 1)\mu_3]E_a}{[\mu_3 + n^0(1 - \mu_3)][1 + (n^0 - 1)\mu_3] - A};$$

$$A = (n^0 \nu_c - \nu_a)^2 (1 - \mu_3)\mu_3;$$

$$E_2^* = E_1^*;$$

$$E_3^* = \frac{[1 + (n^0 - 1)\mu_1]E_a}{[\mu_1 + n^0(1 - \mu_1)][1 + (n^0 - 1)\mu_1] - A1};$$

$$A1 = (n^0 \nu_c - \nu_a)^2 (1 - \mu_1)\mu_1;$$

$$G_{12}^* = \frac{E_a}{2[(1 + \nu_a)\mu_3 + n^0(1 + \nu_c)(1 - \nu_3)]};$$

$$G_{13}^* = \frac{m^0(1 + \mu_1) + 1 - \mu_1}{m^0(1 - \mu_1) + 1 - \nu_1} G_c;$$

$$G_{23}^* = \frac{E_a}{2[(1 + \nu_a)\mu_1 + n^0(1 + \nu_c)(1 - \mu_1)]}.$$

Вычисление дополнительных констант:

$$n_1^* = n_2^* = \frac{E_a}{E_1^*}; \quad n_3^* = \frac{E_a}{E_3^*};$$

$$m_{12}^* = \frac{G_a}{G_{12}^*}; \quad m_{13}^* = \frac{G_a}{G_{13}^*}; \quad m_{23}^* = \frac{G_a}{G_{23}^*}.$$

Вычисление коэффициентов Пуассона модифицированной матрицы:

$$\nu_{12}^* = \left\{ \left[\nu_a \mu_3 + n^0 \nu_c (1 - \mu_3) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[1 + (n^0 - 1)\mu_3 \right] + A2 \right\} / \left\{ n_2^* \left[1 + (n^0 - 1)\mu_3 \right] \right\};$$

$$A2 = (n^0 \nu_c - \nu_a)^2 (1 - \mu_3)\mu_3;$$

$$v_{13}^* = \frac{(1-\mu_1)v_c + \mu_1 v_a}{E_a \mu_1 + E_c(1+\mu_1)} E_3^*;$$

$$v_{23}^* = \left\{ \left[v_a \mu_1 + n^0 v_c (1-\mu_1) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[1 + (n^0 - 1) \mu_1 \right] + A3 \right\} / \left\{ n_3^* \left[1 + (n^0 - 1) \mu_1 \right] \right\}; \\ A3 = (n^0 v_c - v_a)^2 (1-\mu_1) \mu_1.$$

Расчет упругих характеристик горизонтального слоя с прямыми волокнами. При расчете упругих характеристик элементарного слоя в направлениях 1 и 2 в качестве армирующей выбирается арматура, уложенная в направлении 1, а при расчете характеристик элементарного слоя в направлении 3 в качестве армирующей выбирается арматура, уложенная в направлении 3.

Исходные данные для расчета: приведенные выше, а также параметры модифицированной матрицы $E_1^*, E_2^*, E_3^*, G_{12}^*, G_{13}^*, G_{23}^*, v_{12}^*, v_{13}^*, v_{23}^*$.

Расчетные зависимости для определения упругих характеристик слоя принимают вид:

$$E_1 = \left[1 + (n_1^* - 1) \mu_1 \right] E_1^*;$$

$$E_2 = \frac{\left[1 + (n_2^* - 1) \mu_1 \right] E_a}{\left[\mu_1 + n_2^* (1 - \mu_1) \right] \left[1 + (n_2^* - 1) \mu_1 \right] - A4};$$

$$A4 = (n_2^* v_{12}^* - v_a)^2 (1 - \mu_1) \mu_1;$$

$$E_3 = \left[1 + (n_3^* - 1) \mu_3 \right] E_3^*;$$

$$G_{12} = \frac{m_{12}^* (1 + \mu_1) + 1 - \mu_1}{m_{12}^* (1 - \mu_1) + 1 + \mu_1} G_{12}^*;$$

$$G_{13} = \frac{m_{13}^* (1 + \mu_3) + 1 - \mu_3}{m_{13}^* (1 - \mu_3) + 1 + \mu_3} G_{13}^*;$$

$$G_{23} = \frac{m_{23}^* (1 + \mu_3) + 1 - \mu_3}{m_{23}^* (1 - \mu_3) + 1 + \mu_3} G_{23}^*;$$

$$v_{12} = \frac{v_a \mu_1 + (1 - \mu_1) v_{12}^*}{1 + (n_1^* - 1) \mu_1} \cdot \frac{E_1}{E_1^*};$$

$$v_{13} = \frac{v_a \mu_3 + (1 - \mu_3) v_{13}^*}{1 + (n_3^* - 1) \mu_3} \cdot \frac{E_3}{E_3^*};$$

$$v_{23} = \frac{v_a \mu_3 + (1 - \mu_3) v_{23}^*}{1 + (n_3^* - 1) \mu_3} \cdot \frac{E_3}{E_3^*}.$$

Расчет упругих характеристик пространственно армированного КМ. Расчет компонентов матрицы жесткости ортотропного монослоя

$$S = \frac{1}{E_1 E_2 E_3} \left(1 + 2 \frac{E_1}{E_3} v_{12} v_{13} v_{23} - A5 \right); \quad (1)$$

$$A5 = \frac{E_1}{E_2} v_{12}^2 + \frac{E_1}{E_3} v_{13}^2 + \frac{E_2}{E_3} v_{23}^2;$$

$$B_{11} = \frac{1}{E_3 S} \left(\frac{1}{E_2} - \frac{v_{23}^2}{E_3} \right); \quad (2)$$

$$B_{22} = \frac{1}{E_3 S} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{v_{13}^2}{E_3} \right); \quad (3)$$

$$B_{33} = \frac{1}{E_2 S} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{v_{12}^2}{E_2} \right); \quad (4)$$

$$B_{12} = \frac{1}{E_3 S} \left(\frac{v_{13} v_{23}}{E_3} - \frac{v_{12}}{E_2} \right); \quad (5)$$

$$B_{13} = \frac{1}{E_2 S} \left(\frac{v_{12} v_{23}}{E_3} - \frac{v_{13}}{E_3} \right); \quad (6)$$

$$B_{23} = \frac{1}{E_3 S} \left(\frac{v_{12} v_{13}}{E_2} - \frac{v_{23}}{E_1} \right); \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} B_{44} &= G_{23}; & B_{55} &= G_{13}; \\ B_{55} &= G_{13}; & B_{66} &= G_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Расчет компонентов матрицы жесткости КМ, составленного из ортотропных слоев, повернутых вокруг оси 3.

Исходные данные для расчета: компоненты матрицы жесткости монослоя; n – число слоев в материале; θ_i – угол поворота i -го слоя вокруг оси 3 относительно оси 1;

$$\alpha_{1i} = \cos \theta_i; \quad \alpha_{2i} = \sin \theta_i.$$

Расчетные зависимости имеют вид:

$$B'_{11} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{1i}^4 B_{11} + 2 \alpha_{1i}^2 \alpha_{2i}^2 \cdot A5 + \alpha_{2i}^4 B_{22} \right]; \quad (9)$$

$$A5 = (B_{12} + 2B_{66});$$

$$B'_{22} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{2i}^4 B_{11} + 2 \alpha_{1i}^2 \alpha_{2i}^2 \cdot A5 + \alpha_{1i}^4 B_{22} \right]; \quad (10)$$

$$B'_{33} = B_{33}; \quad (11)$$

$$B'_{12} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[(\alpha_{1i}^4 + \alpha_{2i}^4) B_{12} + \alpha_{1i}^2 \alpha_{2i}^2 \cdot A6 \right]; \quad (12)$$

$$A6 = (B_{11} + B_{22} - 4B_{66});$$

$$B'_{13} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_{1i}^2 B_{13} + \alpha_{2i}^2 B_{23}]; \quad (13)$$

$$B'_{23} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_{2i}^2 B_{13} + \alpha_{1i}^2 B_{23}]; \quad (14)$$

$$B'_{44} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_{1i}^2 B_{44} + \alpha_{2i}^2 B_{55}]; \quad (15)$$

$$B'_{45} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_{1i} \alpha_{2i} (B_{44} - B_{55})]; \quad (16)$$

$$B'_{55} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_{1i}^2 B_{55} + \alpha_{2i}^2 B_{44}]; \quad (17)$$

$$B'_{66} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(\alpha_{1i}^2 + \alpha_{2i}^2) B_{66} + \alpha_{1i}^2 \alpha_{2i}^2 \cdot A7]; \quad (18)$$

$$A7 = (B_{11} + B_{22} - 2B_{12});$$

$$B'_{16} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ -\alpha_{1i} \alpha_{2i} [\alpha_{1i}^2 B_{11} - \alpha_{2i}^2 B_{22} - A8] \right\}; \quad (19)$$

$$A8 = (\alpha_{1i}^2 - \alpha_{2i}^2) (B_{12} + 2B_{66});$$

$$B'_{26} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ -\alpha_{1i} \alpha_{2i} [\alpha_{2i}^2 B_{11} - \alpha_{1i}^2 B_{22} + A8] \right\}; \quad (20)$$

$$B'_{36} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_{1i} \alpha_{2i} (B_{23} - B_{13})]. \quad (21)$$

Анализ свойств материала в разных направлениях. При анализе свойств пространственно армированного КМ в разных направлениях можно использовать расчетные зависимости (1)–(21), варьируя значения угла θ_i . Например, для 3-D структуры

$$n = 2, \quad \theta_1 = 0, \quad \theta_2 = 90^\circ.$$

Принимая

$$\theta'_i = \theta_i + k\Delta,$$

где Δ – приращение угла i -го слоя, $k = 1, 2, 3, \dots$, можно получить компоненты матриц жесткостей для семейства координатных систем, вращающихся вокруг оси 3.

При $\Delta = 5^\circ$ угол поворота первого слоя принимает значения $\theta'_1 = 0, 5, 10, 15^\circ, \dots$, угол поворота второго слоя $\theta'_2 = 90, 95, 100, 105^\circ, \dots$

Для 4-DL структуры $n = 3$, $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 60^\circ$, $\theta_3 = -60^\circ$.

Для системы координат, совпадающей с направлениями 1–3 компоненты матрицы жесткости $B'_{16} = B'_{26} = B'_{36} = B'_{45} = 0$, т. е. исследуемые материалы являются ортотропными. В остальных системах они анизотропны.

Расчет упругих констант пространственно армированного КМ. Упругие технические характеристики рассчитываются на основе матрицы коэффициентов податливости слоистого композиционного материала, которые получаются путем преобразования коэффициентов матрицы жесткости.

Определение коэффициентов матрицы податливости a_{ij} производится методом Крамера, путем решения 6 линейных уравнений закона Гука, содержащих коэффициенты жесткости относительно ε_i и γ_{ij}

$$\begin{cases} \sigma_1 = B'_{11}\varepsilon_1 + B'_{12}\varepsilon_2 + B'_{13}\varepsilon_3 + B'_{16}\gamma_{12}; \\ \sigma_2 = B'_{12}\varepsilon_1 + B'_{22}\varepsilon_2 + B'_{23}\varepsilon_3 + B'_{26}\gamma_{12}; \\ \sigma_3 = B'_{13}\varepsilon_1 + B'_{23}\varepsilon_2 + B'_{33}\varepsilon_3 + B'_{36}\gamma_{12}; \\ \tau_{23} = B'_{44}\gamma_{23} + B'_{45}\gamma_{13}; \\ \tau_{13} = B'_{45}\gamma_{23} + B'_{55}\gamma_{13}; \\ \tau_{12} = B'_{16}\varepsilon_1 + B'_{26}\varepsilon_2 + B'_{36}\varepsilon_3 + B'_{66}\gamma_{12}. \end{cases} \quad (22)$$

Система уравнений (22) распадается на две независимые системы, каждая из которых может быть решена отдельно

$$\begin{cases} \tau_{23} = B'_{44}\gamma_{23} + B'_{45}\gamma_{13}; \\ \tau_{13} = B'_{45}\gamma_{23} + B'_{55}\gamma_{13}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = B'_{11}\varepsilon_1 + B'_{12}\varepsilon_2 + B'_{13}\varepsilon_3 + B'_{16}\gamma_{12}; \\ \sigma_2 = B'_{12}\varepsilon_1 + B'_{22}\varepsilon_2 + B'_{23}\varepsilon_3 + B'_{26}\gamma_{12}; \\ \sigma_3 = B'_{13}\varepsilon_1 + B'_{23}\varepsilon_2 + B'_{33}\varepsilon_3 + B'_{36}\gamma_{12}; \\ \tau_{12} = B'_{16}\varepsilon_1 + B'_{26}\varepsilon_2 + B'_{36}\varepsilon_3 + B'_{66}\gamma_{12}. \end{cases}$$

Значения технических констант, после решения систем уравнений, определяются по известным соотношениям:

$$E_1 = \frac{1}{a_{11}}, \quad E_2 = \frac{1}{a_{22}}, \quad E_3 = \frac{1}{a_{33}};$$

$$G_{12} = \frac{1}{a_{66}}, \quad G_{23} = \frac{1}{a_{44}}, \quad G_{13} = \frac{1}{a_{55}};$$

$$\mu_{12} = a_{12} \cdot E_1, \quad \mu_{23} = a_{23} \cdot E_2, \quad \mu_{13} = a_{13} \cdot E_1;$$

$$\eta_{1,12} = a_{16} \cdot G_{12}, \quad \eta_{2,12} = a_{26} \cdot G_{12}, \quad \eta_{3,12} = a_{36} \cdot G_{12}.$$

Анализ результатов расчета пространственно армированных 3-D и 4-DL структур. На основании результатов расчета основных механических характеристик рассматриваемых структур в зависимости от угла поворота системы координатных осей, в которых эти характеристики определяются, можно ориентировочно оценить погрешность применяемой расчетной модели и сравнить степени изотропии разных схем армирования.

Полная оценка погрешности метода расчета может быть выполнена только при непосредственном испытании материала, однако, некоторую степень погрешности расчета можно выявить при сопоставлении значений характеристик 3-D структуры, полученных по различным зависимостям для разных направлений и углов.

Сопоставление значений модулей упругости E_{1-3} (рис. 5), которые в направлениях 1–3 должны быть одинаковыми, показывает, что их значения при $\theta = 0^\circ$ различаются незначительно (на $\approx 2\%$). Значения E_3 не должны зависеть от угла поворота, что и подтверждается расчетом.

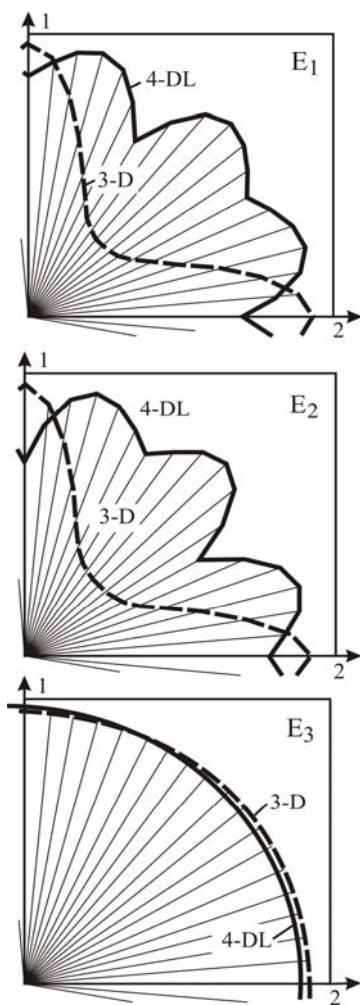


Рис. 5. Характер изменения модуля упругости в зависимости от угла поворота системы координатных осей

Анализ значений модуля сдвига G_{12} (рис. 6 и 8) в точке $\theta = 0^\circ$ показывает, что они должны соответствовать и быть равными значениям G_{13} и G_{23} , при этом действительная погрешность расчета близка к 3%. Значения G_{13} и G_{23} не зависят от изменения угла поворота и имеют равные значения

$$G_{13} = G_{23} = 49,79 \cdot 10^2 \text{ МПа.}$$

Для коэффициента Пуассона ν_{12} (рис. 7 и 8) характерна приблизительно такая же зависимость от угла, как и для модуля сдвига G_{12} , а для коэффициентов ν_{13} и ν_{23} – такая же, как для модулей упругости E_1 и E_2 (3-D), причем величины погрешностей также сопоставимы.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что определяемые при расчете упругие характеристики пространственно армированного материала – модули упругости, модули сдвига и коэффициенты Пуассона могут быть рассчитаны с погрешностью 5...10%. Причем величина погрешности уменьшается с увеличением абсолютных значений определяемого параметра.

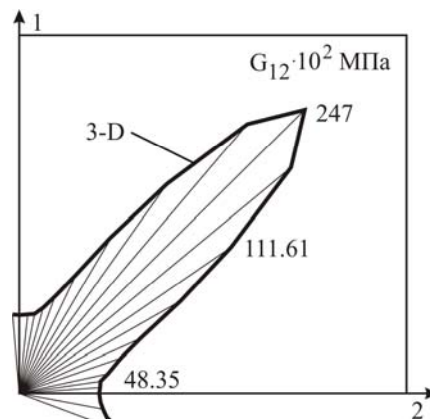


Рис. 6. Изменение модуля сдвига G_{12}

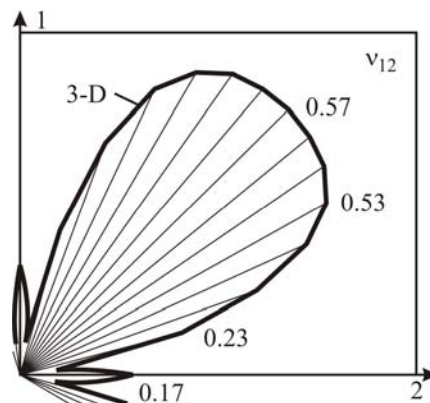


Рис. 7. Изменение коэффициента Пуассона ν_{12}

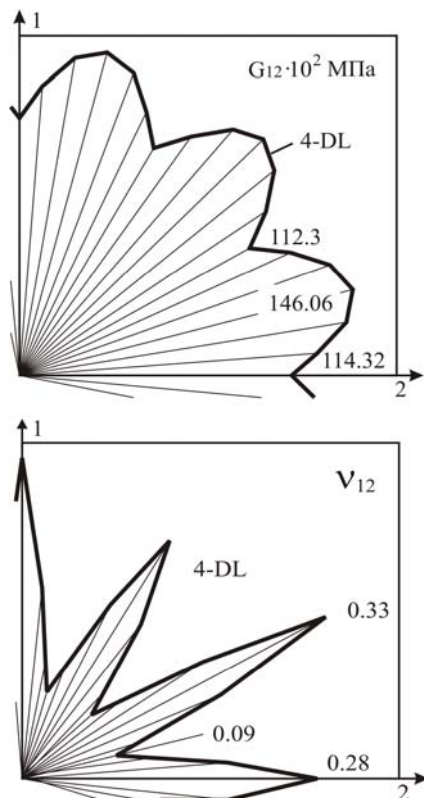


Рис. 8. Изменение модуля сдвига и коэффициента Пуассона

Сравнительная оценка изотропии разных схем армирования. На основании анализа круговых диаграмм, которые получены по приведенным выше зависимостям для модулей упругости E_1, E_2, E_3 , для модулей сдвига G_{12}, G_{13}, G_{23} и для коэффициентов Пуассона $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$, удобно определять степень анизотропии рассматриваемых структур пространственно армируемых материалов.

Для 3-D структур степень анизотропии (отношение максимальных значений параметра к минимальным при повороте системы координат) для модулей упругости равна $n_E = 2,7$. Для 4-DL структур степень анизотропии модулей упругости $n_E = 1,4$. Характер изменения модуля E_3 для 4-DL структуры аналогичен 3-D.

Степень анизотропии модуля сдвига G_{12} для 3-D структуры составляет $n_{G_{12}} \approx 5$, а для G_{13} и G_{23} $n_G = 1$. Для 4-DL структуры степень анизотропии модуля упругости G_{12} равна $n_{G_{12}} \approx 1,3$, а для G_{13} и G_{23} также $n_G = 1$.

Степень анизотропии коэффициентов Пуассона $n_{\nu_{12}} = 3,35$ для 3-D структуры и $n_{\nu_{12}} = 3,67$ для 4-DL структуры. Для ν_{13} и ν_{23} степень анизотропии варьируется в пределах 2,69...3,67.

Выводы

Расчеты, проведенные по предлагаемой методике, показали, что степень анизотропии большинства упругих характеристик пространственно армированного материала 4-DL структуры существенно ниже соответствующих характеристик рассчитанных для 3-D структуры, т. е. 4-DL структура является более изотропной и предпочтительной.

Степень достоверности получаемых результатов достаточна для проведения качественной оценки упругих характеристик и технических констант вновь создаваемых пространственно армированных композиционных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Berg J. Tests of brake overlays from composite materials / J. Berg, A. Kalinkowski // *Glaser's Annalen*. – 1984. – № 10, – P. 279–285.
2. Bauer H. Frictional materials for brakes. *Glaser's Annalen*, – 1999. – № 11/12, – P. 472–475.
3. Zander C. P. Ceramic-metal braking clamps on thick locomotives. *Glaser's Annalen*. – 2001. – № 4. – P. 157–165.
4. Ehlers H. R. et. al. Potential and limits of opportunities of the block brake. *Glaser's Annalen*. – 2002. – № 6/7, – P. 290–300.
5. Налев И. А. Опыт разработки и производства железнодорожных композиционных тормозных колодок в ОАО «ФРИТЕКС» / И. А. Налев, Д. А. Дружнов, Н. А. Страхов // *Вестник ВНИИЖТ*. – 2002. – № 4.
6. Старченко В. Н. Повышение эффективности торможения использованием новых углерод-композиционных материалов / В. Н. Старченко, Е. В. Полупан, С. И. Шевченко // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – 2004. – № 7(77). – С. 137–142.
7. Старченко В. М. Випробування нових фрикційних матеріалів для гальмування транспортних засобів / В. М. Старченко, В. М. Поляков. – *Вісник Нац. трансп. ун-ту*. – К.: НТУ, 2004. – Вип. 9. – С. 283–287.

Поступила в редколлегию 26.10.2005.

В. Ф. УШКАЛОВ, Т. Ф. МОКРИЙ, И. Ю. МАЛЫШЕВА, И. А. МАЩЕНКО,
Д. И. ГРИЦЕНКО (ИТМ НАНУ и НКАУ)

ВЛИЯНИЕ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУВАГОНОВ С ТЕЛЕЖКАМИ МОДЕЛИ 18-100 ЗАМЕНЫ СТАНДАРТНОГО ПРОФИЛЯ КОЛЕС ПРОФИЛЕМ ИТМ-73

На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень оцінений вплив на динамічні якості вантажних вагонів з візками моделі 18-100 заміни стандартних коліс колесами з профілем ІТМ-73.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований оценено влияние на динамические качества грузовых вагонов с тележками модели 18-100 замены стандартных колес колесами с профилем ИТМ-73.

Based on the results of theoretical and experimental studies, the effect of change of standard wheels by wheels with ITM-73 profile on dynamic performance of freight wagons with 18-100 trucks is evaluated.

Трехэлементные грузовые тележки модели 18-100 наряду с положительными чертами (простота конструкции, невысокая стоимость производства, технологичность в ремонте и т. д.) обладают рядом недостатков, среди которых склонность к самовозбуждению колебаний виляния, повышенный износ элементов клиновой системы, потребность в частых переточках колесных пар из-за предельного износа гребней и др.

На основании результатов теоретических исследований ИТМ НАНУ и НКАУ предложена комплексная модернизация [1] (с сохранением основных наиболее металлоемких элементов) тележек грузовых вагонов модели 18-100 за счет использования трех элементов компании A. Stucki (боковых упруго-катковых скользунов постоянного контакта, усовершенствованной клиновой системы демпфирования, эластомерных прокладок между пятником и подпятником вагона) и замены стандартного профиля колес износостойким профилем ИТМ-73.

Эффективность такой модернизации подтверждена данными экспериментальных исследований, проведенных ВНИИЖТ, УкрНИИВ, ДИИТ и ИТМ НАНУ и НКАУ: увеличивается диапазон эксплуатационных скоростей движения порожних грузовых вагонов (за счет возрастания критической скорости); улучшаются показатели их динамических качеств; на порядок увеличивается ресурс элементов системы рессорного подвешивания и демпфирования колебаний; существенно уменьшается износ элементов пятникового узла; примерно в 2...2,5 раза уменьшается интенсивность износа гребней колес по сравнению со стандартными колесами [1] и т. д.

В качестве примера на рис. 1 показаны полученные при ходовых динамических испытаниях, проведенных ДИИТ с участием ИТМ, коэффициенты горизонтальной динамики $K_{ДГ}$ порожних полувагонов с типовыми (а), комплексно модернизированными (б) и модернизированными только устройствами компании A. Stucki (профиль колес стандартный) (в) тележками. Вагоны ко времени испытаний имели пробег около 100 тыс. км в составе маршрутного поезда на участке Кривой Рог–Кошице. Горизонтальной штриховой линией на рис. 1 нанесен допустимый уровень $K_{ДГ}$.

Как видим, у вагонов с модернизированными тележками диапазон скоростей движения, при котором значения $K_{ДГ}$ ниже допустимого уровня, существенно шире, чем у типового вагона. Следует отметить, что лучшие динамические показатели у вагона с модернизированными тележками, которые оборудованы колесами со стандартным профилем обода. Однако интенсивность износа таких колес очень высока. Замена стандартных колес колесами с профилем ИТМ-73 позволяет существенно снизить износ гребней при сохранении приемлемых динамических качеств вагона в широком диапазоне скоростей движения.

Указанная модернизация предлагается для широкомасштабного внедрения на железных дорогах Украины, а также других стран СНГ и Балтии. В настоящее время на отечественных вагоноремонтных заводах уже модернизировано свыше 700 тележек для полувагонов, которые эксплуатируются в маршрутных поездах.

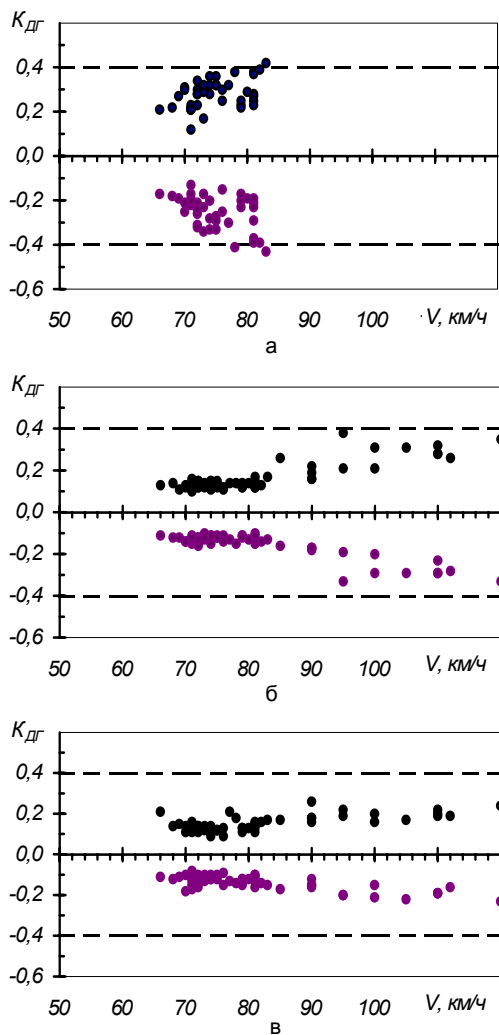


Рис. 1

Несмотря на то, что колеса с профилем ИТМ-73 предназначены для эксплуатации только совместно со скользунками постоянного контакта (в модернизированных тележках), на практике может оказаться, что одна или несколько колесных пар с таким профилем будут установлены (по ошибке) в немодернизированные тележки.

Целью данной работы является оценка с точки зрения влияния на динамические качества полувагона последствий установки колес с профилем ИТМ-73 в немодернизированных тележках.

Ниже приведены некоторые результаты расчетов и проведенных ДИИТ [2] ходовых динамических испытаний полувагонов с немодернизированными тележками при использовании колес с разными профилями ободьев.

Исследования показали, что критическая скорость вагонов с типовыми (немодернизированными) тележками модели 18-100 и стандартным неизношенным профилем колес выше, чем вагонов с такими же тележками и износостойким профилем колес ИТМ-73. С ростом износа колес критическая скорость падает, однако, при одинаковом пробеге у экипажей, имеющих колеса с профилем ИТМ-73, она изменяется по сравнению с типовым вагоном менее резко.

Расчетные и экспериментальные данные о критических скоростях при разных пробегах порожних полувагонов даны в таблице.

Таблица

Пробег вагона, тыс. км	Критическая скорость вагона (км/ч) на бесстыковом (стыковом) пути с колесами, имеющими профиль			
	стандартный		ИТМ-73	
	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент
0	130	120	80	70
160	75	60 (50)	75	60 (50)

На рис. 2 приведены расчетные показатели динамических качеств порожних полувагонов (вертикальные \ddot{z} и горизонтальные поперечные \ddot{y} ускорения кузова, коэффициент горизонтальной динамики $K_{ДГ}$) при нулевом пробеге (сплошные линии на графиках), когда колеса неизношены, и пробеге до среднего износа (пунктирные линии на графиках) стандартных колес (толщина гребня 29 мм). При этом колеса с профилем ИТМ-73 имеют толщину гребня 31 мм.

Профили изношенных колес получены по профилограммам, которые сняты с колес опытных полувагонов, проходящих эксплуатационные испытания в маршрутных поездах.

Горизонтальными штриховыми линиями на рис. 2 и далее нанесены нормативные [2] уровни показателей, соответствующие удовлетворительному ходу вагона. Расчеты проведены с учетом неровностей пути, находящегося в хорошем состоянии.

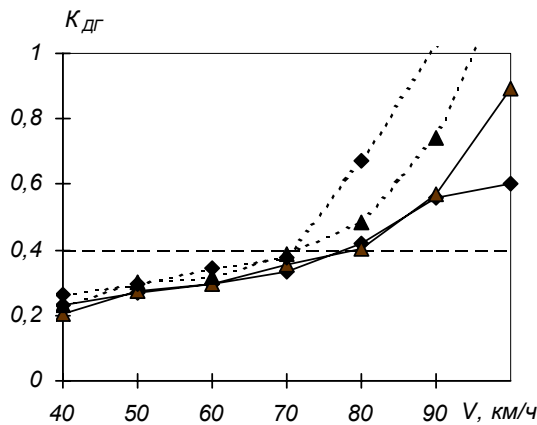
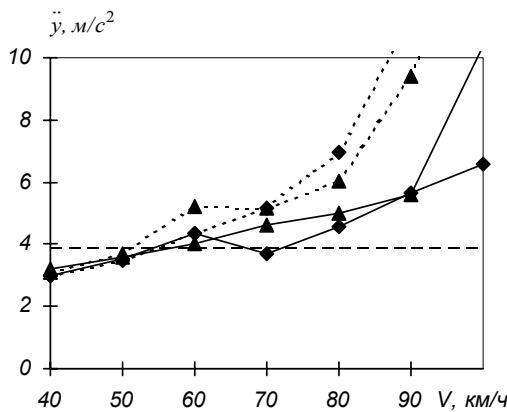
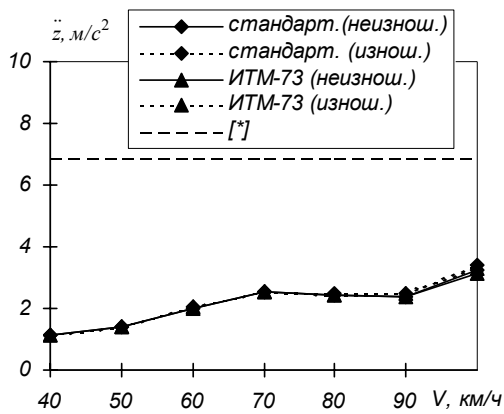


Рис. 2

Из анализа графиков на рис. 2 видно, что в случае изношенных колес (пунктирные линии с соответствующими маркерами) показатели \ddot{y} и K_{DG} , характеризующие колебания полувагонов в горизонтальной поперечной плоскости, ухудшаются по сравнению с аналогичными показателями вагонов с неизношенными колесами (сплошные линии) и при скоростях движения экипажей выше 70 км/ч (по K_{DG}) или 50 км/ч (по \ddot{y}) превышают допустимые уровни. При этом полувагоны со стандартными колесами и колесами с профилем ИТМ-73 при одинаковом пробеге имеют близкие максимальные допустимые скорости движения.

Аналогичное сравнение, сделанное по результатам проведенных ДИИТ ходовых динамических испытаний порожних полувагонов после пробега ≈ 160 тыс. км (рис. 3), также показало, что динамические качества вагона, имеющего колеса с профилем ИТМ-73, в целом не хуже, чем вагона со стандартными колесами. Этот вывод справедлив для случаев движения экипажей как по бесстыковому (линии с темными маркерами), так и по стыковому (линии со светлыми маркерами) пути.

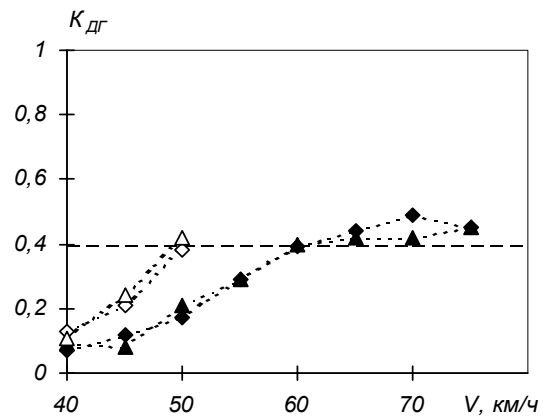
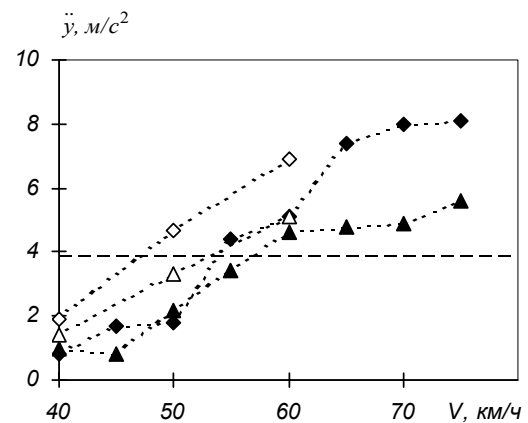
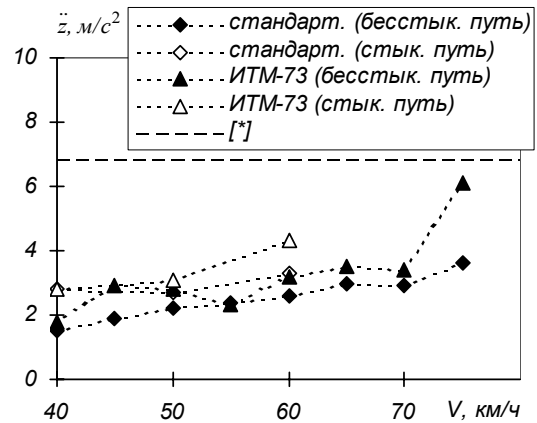


Рис. 3

Выводы

Если в грузовом вагоне с немодернизированными тележками одна или несколько колесных пар окажутся с профилем колес ИТМ-73, динамические качества такого вагона останутся примерно на том же уровне, что и серийного вагона с изношенными стандартными колесами.

К сожалению, этот уровень чрезвычайно низкий. Как показал эксперимент, безопасная скорость движения порожних полувагонов при движении по стыковому пути до 50 км/ч, по бесстыковому – 60 км/ч. Для того, чтобы порожние вагоны могли эксплуатироваться со скоростями до 90 км/ч, тележку модели 18-100 необходимо комплексно модернизировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hansen W. M. Gregg Комплексная модернизация тележек 18-100 для снижения износа ко-

лес и повышения ходовых качеств грузовых вагонов / W. M. Gregg Hansen, А. Д. Лашко, В. Ф. Ушкалов и др. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 5. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – С. 215–219.

2. Коротенко М. Л. Результаты сравнительных динамических ходовых испытаний полувагонов с различными типами профиля колес / М. Л. Коротенко, С. А. Кострица, Р. Б. Грановский и др. // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тез. докл. 65 Международной научно-практической конференции. – Д.: ДИИТ, 19, 20 мая 2005 г.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1 520 мм (несамоходных) / Гос. НИИВ – ВНИИЖТ. – М.: Гос. НИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Поступила в редколлегию 24.11.2005.

В. П. АФАНАСЬЕВ, Г. И. СЕМЕНЕЦ (ДИИТ)

НАДЕЖНОСТЬ ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКИ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА

У термінах випадкових функцій сформульовані умови працездатності нижнього пояса циліндричної стінки сталевих резервуарів для довгострокового зберігання нафтопродуктів. Запропонована модель експлуатаційної надійності даного конструктивного елемента.

В терминах случайных функций сформулированы условия работоспособности нижнего пояса цилиндрической стенки стальных резервуаров для долгосрочного хранения нефтепродуктов. Предложена модель эксплуатационной надежности данного конструктивного элемента.

In terms of stochastic functions conditions of serviceability of the bottom zone of a wall of steel tanks for long-term storage of mineral oil are formulated. The model of operational reliability of this constructive element is received.

Нефтебазы Украины и других стран СНГ укомплектованы в основном стальными вертикальными цилиндрическими резервуарами (РВС), которые в настоящее время находятся в стадии активного физического износа, что обуславливает повышение риска их отказов. Нарушение целостности, а тем более частичные или полные разрушения РВС связаны с потерей нефтепродукта, загрязнением окружающей среды, значительными материальными убытками. Поэтому эти крупногабаритные конструкции относятся к сооружениям, безопасность эксплуатации которых является главным условием. Важнейшим конструктивным элементом, в значительной мере определяющим техническое состояние резервуара в целом, является нижний пояс его корпуса – тонкостенная цилиндрическая оболочка, корродирующая в процессе эксплуатации. Проблема обеспечения надежной работы данного конструктивного элемента изучена недостаточно и требует дальнейших исследований.

Рассматривается нижний пояс стенки стального вертикального цилиндрического резервуара, представляющий собой замкнутую круговую цилиндрическую оболочку постоянной толщины, которая жестко закреплена в основании и подвержена комбинированному действию внутреннего гидростатического давления, равномерного сжатия в осевом направлении и равномерного внешнего давления, нормального к боковой поверхности. Многочисленные данные натурных обследований РВС [1; 2] показывают, что основным видом физического износа этих сооружений в процессе эксплуатации является коррозионный износ, причем для нижнего пояса характерно совместное воздействие неравномерной поверхностной и локальной коррозии. Поверхностная

коррозия обуславливает уменьшение толщины листов и снижение прочности оболочки, а локальная коррозия, проявляющаяся в виде коррозионных язвин, питтингов и пятен, является основным механизмом развития возможных сквозных повреждений.

На протяжении всего срока службы нижний пояс цилиндрической стенки стального резервуара должен отвечать требованиям прочности, устойчивости и герметичности. Условие прочности этого конструктивного элемента в процессе эксплуатации в соответствии с [3; 4] определяется следующей системой неравенств:

$$R_y \psi(t) \upsilon(t) [\delta_0 - \varepsilon(t)] \geq pr, \quad (1)$$

$$\gamma_c R_y \psi(t) \upsilon(t) [\delta_0 - \varepsilon(t)]^2 \geq 6M_0(t), \quad (2)$$

где δ_0, r, R_y – соответственно проектная толщина, радиус срединной поверхности и расчетное сопротивление оболочки; $\psi(t)$ – поправка, учитывающая возможное снижение прочности оболочки в процессе эксплуатации вследствие усталостных повреждений, определяемая по [3]; $\varepsilon(t)$ – поправка, учитывающая возможное уменьшение толщины оболочки вследствие коррозионного износа

$$\varepsilon(t) = \int_0^t u dt; \quad (3)$$

u – скорость поверхностной коррозии оболочки, рассматриваемая далее как случайная величина, распределенная по нормальному закону; $\upsilon(t)$ – поправка, учитывающая возможное изменение прочности оболочки вследствие кор-

розионных повреждений, определяемая по следующей формуле [3]:

$$v(t) = \exp\left[-\frac{\beta\varepsilon(t)}{k_p\delta_0}\right]; \quad (4)$$

β, k_p – соответственно коэффициенты шероховатости и питтингообразования [3]; p – расчетная величина внутреннего гидростатического давления в оболочке

$$p = \rho x; \quad (5)$$

ρ, x – соответственно удельный вес и высота залива нефтепродукта; $M_0(t)$ – текущее значение изгибающего момента в точках сопряжения оболочки с основанием, определяемое по известной методике [5]; γ_c – коэффициент условий работы узла сопряжения нижнего пояса резервуара с основанием, согласно [4] принимаемый равным $\gamma_c = 1, 2$.

Заметим, что неравенство (1) описывает условие прочности безмоментной области оболочки, а неравенство (2) – это условие прочности оболочки в зоне краевого эффекта.

При отсутствии в резервуаре нефтепродукта его нижний пояс цилиндрической стенки может подвергаться воздействию целого ряда нагрузок, вызывающих сжатие как в окружном, так и в меридиональном направлениях. Условие устойчивости рассматриваемой оболочечной конструкции в процессе эксплуатации согласно [4] определяется неравенством следующего вида:

$$\frac{\sigma_1(t)}{\sigma_{cr1}(t)} + \frac{\sigma_2(t)}{\sigma_{cr2}(t)} \leq 1, \quad (6)$$

где $\sigma_1(t), \sigma_2(t)$ – текущие значения меридионального и кольцевого напряжений, возникающих в оболочке соответственно от продольных и радиальных внешних нагрузок; $\sigma_{cr1}(t), \sigma_{cr2}(t)$ – текущие значения критических напряжений при сжатии оболочки соответственно в осевом и радиальном направлениях.

Принимая во внимание [6], функции $\sigma_1(t), \sigma_2(t), \sigma_{cr1}(t), \sigma_{cr2}(t)$ с учетом коррозионного износа оболочки можно описать следующими соотношениями:

$$\sigma_1(t) = \frac{G}{2\pi r[\delta_0 - \varepsilon(t)]}, \quad (7)$$

$$\sigma_2(t) = \frac{Fr}{\delta_0 - \varepsilon(t)}, \quad (8)$$

$$\sigma_{cr1}(t) = \frac{CE[\delta_0 - \varepsilon(t)]}{r}, \quad (9)$$

$$\sigma_{cr2}(t) = 0,55E\left(\frac{r}{L}\right) \left[\frac{[\delta_0 - \varepsilon(t)]}{r}\right]^{3/2}, \quad (10)$$

где G – сила, сжимающая оболочку в осевом направлении; F – расчетное значение внешнего равномерного давления, нормального к боковой поверхности; E – модуль упругости; L – высота оболочки; C – параметр, определяемый по [6] в зависимости от соотношения r и δ_0 .

Условие герметичности нижнего пояса цилиндрической стенки резервуара в процессе эксплуатации с учетом коррозионного износа можно записать в виде неравенства следующего вида:

$$\delta_0 - \varepsilon(t) - \xi(t) \geq \Delta, \quad (11)$$

где Δ – величина отрицательного допуска на листовую прокат, используемый при изготовлении оболочки [7]; $\xi(t)$ – поправка, определяющая текущую глубину локальных коррозионных повреждений оболочки

$$\xi(t) = \int_0^t v dt; \quad (12)$$

v – скорость локальной коррозии оболочки, рассматриваемая далее как случайная величина, распределенная по нормальному закону.

Приведенные условия прочности (1) и (2), устойчивости (6) и герметичности (11) описывают эксплуатационное состояние рассматриваемой оболочки. При совместном выполнении неравенств (1), (2), (6) и (11) данная конструкция находится в работоспособном состоянии. Нарушение хотя бы одного из этих неравенств является критерием неработоспособного состояния конструкции, т. е. ее отказа.

Основными показателями надежности строительных конструкций в процессе эксплуатации является вероятность безотказной работы и долговечность. Вероятность сохранения прочности рассматриваемой оболочки на протяжении времени t можно определить вероятностью совместного выполнения неравенств (1) и (2), вычисляемой по формуле

$$P_{\Pi}(t) = \int_{-\infty}^{u^*} f(u) du, \quad (13)$$

где $f(u)$ – плотность распределения вероятностей случайной величины u , а верхний предел

интегрирования u_1^* равен наибольшему из корней следующей системы уравнений:

$$R_{y\Psi}(t) \cup(t) [\delta_0 - u_1^* t] - pr = 0, \quad (14)$$

$$\gamma_c R_{y\Psi}(t) [\delta_0 - u_1^* t]^2 - 6M_0(t) = 0. \quad (15)$$

Вероятность сохранения устойчивости рассматриваемой оболочки на протяжении времени t определяется вероятностью выполнения неравенства (6), вычисляемой по формуле

$$P_y(t) = \int_{-\infty}^{u_2^*} f(u) du, \quad (16)$$

где верхний предел интегрирования u_2^* вычисляется путем численного решения уравнения

$$\frac{\sigma_1(t)}{\sigma_{cr1}(t)} + \frac{\sigma_2(t)}{\sigma_{cr2}(t)} = 1. \quad (17)$$

Вероятность сохранения герметичности рассматриваемой оболочки на протяжении времени t определяется вероятностью выполнения неравенства (11)

$$P_\Gamma(t) = \iint_D f(u) f(v) dudv, \quad (18)$$

где $f(v)$ – плотность распределения вероятностей случайной величины v , а область интегрирования D описывается неравенством (11).

Принимая во внимание соотношения (13)–(18) и полагая сохранение прочности, устойчивости и герметичности оболочки на протяжении t лет эксплуатации событиями независимыми, вероятность безотказной работы рассматриваемой конструкции как функцию времени можно представить в виде следующей модели:

$$P(t) = P_\Pi(t) P_y(t) P_\Gamma(t). \quad (19)$$

При этом долговечность оболочки, рассматриваемая как среднее время наработки до отказа, находится по формуле

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (20)$$

Заметим, что математические ожидания и дисперсии скоростей поверхностной и локальной коррозии, требуемые для численной реализации моделей (13)–(20), могут быть определены на основе статистической обработки данных натурных обследований нефтяных резервуаров, находящихся в эксплуатации.

Выводы

Предложенные модели эксплуатационной надежности тонкостенной цилиндрической оболочки в условиях коррозионного износа могут быть полезны при прогнозировании технического состояния стальных конструкций нефтяных резервуаров. Кроме того эти модели могут быть легко распространены на любые тонкостенные стальные оболочечные конструкции (силосы, газгольдеры и т. д.), используемые для долгосрочного хранения агрессивных продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров Е. А. Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации. – Д.: Навчальна книга, 2002. – 95 с.
2. Овчинников И. Г. Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций / И. Г. Овчинников, Н. Б. Кудайбергенов, А. А. Шейн. – Саратов: СГТУ, 1999. – 316 с.
3. Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту // Доповнення та зміни. – К.: Укрнафтопродукт, 1997. – 297 с.
4. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України. – К.: Укрнафтопродукт, 1995. – 46 с.
5. Лессиг Е. Н. Листовые конструкции / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. – М.: Стройиздат, 1970. – 480 с.
6. СНиП 11-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
7. ГОСТ 19903-74. Сталь листовая горячекатаная. Сортамент. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 16 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2005.

СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Розроблено програмне забезпечення для дослідження коливань і міцності несучих елементів мостових споруд при різних швидкостях руху рейкового екіпажа.

Разработано программное обеспечение для исследования колебаний и напряженно-деформированного состояния несущих элементов мостовых сооружений при различных скоростях движения рельсового экипажа.

Software is developed to research into vibrations and the stressed-deformed state of the carrying elements of bridge structures at various speeds of a rail vehicle movement.

Вопросы динамического взаимодействия движущихся объектов с конструкциями и их элементами, несмотря на многочисленные исследования ученых и специалистов, продолжают оставаться весьма актуальными при проектировании, строительстве и эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах.

При движении объектов колебания несущих конструкций являются нестационарными и возбуждаются в период времени, когда нагрузка перемещается по конструкции, а после ее прохода затухают.

Первые работы по динамике балочных конструкций, испытывающих воздействие движущейся нагрузки, относятся к 40-м годам XIX ст., т. е. ко времени начала проектирования и строительства железных дорог. Толчком к теоретическим исследованиям послужили аварии ряда мостов, сопровождавшиеся человеческими жертвами. Уровень этих исследований был невысок, так как стремление упростить математическую формулировку задачи приводило к отвлечению от ряда существенных факторов и даже ошибкам [1]. В частности, решая задачу о воздействии одиночного движущегося груза на однопролетную свободно опертую балку, исследователи рассматривали два предельных случая, в одном из которых масса нагрузки мала по отношению к массе конструкции, а в другом массой последней можно пренебречь в сравнении с массой груза. Очевидно, что обе постановки задачи являются приближенными. Так как не учитывают одновременно массы участников колебательного процесса.

Первое и весьма строгое исследование динамических деформаций однопролетной балки при движении по ней сосредоточенной силы принадлежит А. Н. Крылову, применившему для решения задачи метод разложения проги-

бов конструкции в ряд по формам собственных колебаний [2]. Позднее к аналогичным выводам пришел С. П. Тимошенко [3]. Рассматривая балку как систему с бесконечным числом степеней свободы и синусоидальными формами колебаний, исследователи получали зависимость для деформаций конструкции в произвольном сечении в функции времени, координаты сечения, величины, положения и скорости движения нагрузки, а также жесткостных, инерционных и геометрических характеристик балки.

В данной работе рассматривается расчетная схема однопролетного балочного железнодорожного моста и грузового вагона со стандартными тележками модели 18-100. В этой расчетной схеме рельс принимается упругой балкой с сосредоточенными массами на упругих опорах. Основанием для упругих опор служит балка – перекрытия моста, которая также имеет вид упругой балки с сосредоточенными массами. Над опорой моста предусмотрена установка железобетонной плиты, в пределах которой рельс рассматривается, как упругая балка на сплошном недеформируемом основании.

Таким образом, в расчетной схеме моста учтены мельчайшие детали конструкции, отсутствуют допущения и предложения, искажающие фактическую картину их работы. Поэтому есть все основания считать, что получаемые на математической модели результаты будут практически адекватны тем, которые были бы получены в натурных экспериментах при тождественности исходных данных в математической модели и в натурном эксперименте. Более того, математическая модель позволяет понять многое из того, что скрывается от взгляда исследователей и недоступно для понимания в сложнейших процессах взаимодействия пути и подвижного состава.

При построении математических моделей, описывающих волновые свойства несущих элементов конструкции, используется идея метода конечных элементов (МКЭ), заключающаяся в расчленении сложной конструкции на простые элементы. В качестве конечного элемента принят стержень, нагруженный внешними сосредоточенными силами. Концевые сечения элемента (узлы) имеют связи, реакции которых соответствуют заданным внутренним усилиям, определяющим напряженное состояние стержня.

Для изучения изгибных колебаний механических систем использованы теоретические методы, базирующиеся на теоремах и уравнениях технической механики. При этом использован принцип Даламбера (прямой метод составления уравнений динамического равновесия системы с учетом сил инерции масс).

Уравнения изгибных колебаний представлены в блочно-матричной форме:

$$M\ddot{z} + B\dot{z} + Cz = F, \quad (1)$$

где F – вектор возмущающих воздействий; M – матрица инерционных коэффициентов диагонального вида

$$M = \text{diag}(m_1, m_2, \dots, m_{n-1}, m_n);$$

C и B – квадратные блочно-диагональные симметричные матрицы квазиупругих и диссипативных коэффициентов, \ddot{z} , \dot{z} , z – векторы ускорений, скоростей и перемещений.

Структура матрицы C (табл. 1) представляет собой пятичленную ленточную матрицу.

Таблица 1

Структура матрицы жесткости C

$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	$C_{1,3}$	0	0	0
$C_{2,1}$	$C_{2,2}$	$C_{2,3}$	$C_{2,4}$	0	0
$C_{3,1}$	$C_{3,2}$	$C_{3,3}$	$C_{3,4}$	$C_{3,5}$	0
0	$C_{i,i-2}$	$C_{i,i-1}$	$C_{i,i}$	$C_{i,i+1}$	$C_{i,i+2}$
0	$C_{n-2,n-4}$	$C_{n-2,n-3}$	$C_{n-2,n-2}$	$C_{n-2,n-1}$	$C_{n-2,n}$
0	0	$C_{n-1,n-3}$	$C_{n-1,n-2}$	$C_{n-1,n-1}$	$C_{n-1,n}$
0	0	0	$C_{n,n-2}$	$C_{n,n-1}$	$C_{n,n}$

Элементы отдельных блоков этой симметричной матрицы определяются через геометрические и жесткостные характеристики стержней конструкции и определяются аналитическими выражениями.

Разработаны алгоритмы и программы, с помощью которых учитывается скорость движения экипажа относительно рельсошпальной решетки. С помощью этой программы на каждом шаге

интегрирования корректируются элементы блока матрицы жесткости и диссипации. Блок матрицы описывает изгибные свойства рельсовой плети.

Следует заметить, что достоверность разработанных алгоритмов доказана совпадением результатов, полученных с использованием уравнений (1), с аналогичными результатами, найденными в эксперименте.

Для оценки статических и динамических характеристик единой механической системы «экипаж-мост» при различных скоростях движения вагона был разработан программный комплекс.

С помощью программного обеспечения методами линейной алгебры была решена проблема собственных чисел и векторов (табл. 2).

Таблица 2

Некоторые собственные частоты механической системы «экипаж-мост»

Значение частоты, Гц	Форма колебаний
2,1	Подпрыгивание кузова
9,7	Подпрыгивание тележки
16,6	Галопирование тележки
27,1	1-й тон изгибных колебаний рельса
28,2	То же 2-й тон
53,2	То же 3-й тон

Исследовались вертикальные колебания конструкции с помощью численного интегрирования системы однородных нелинейных дифференциальных уравнений 100-го порядка. Нелинейность уравнений обусловлена наличием в тележке клинового фрикционного гасителя колебаний.

На рис. 1–3 представлены результаты решения: суммарные (кривая 1), статические (кривая 2) и динамические (кривая 3) прогибы и нормальные напряжения в рельсовой плети под катящимися колесами, а также силы взаимодействия между колесами и рельсом.

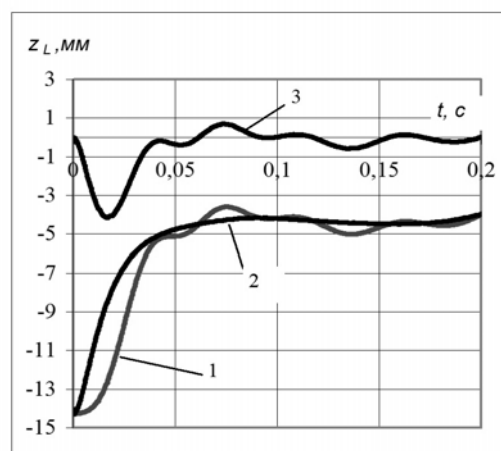


Рис. 1. Прогиб рельса под левым колесом

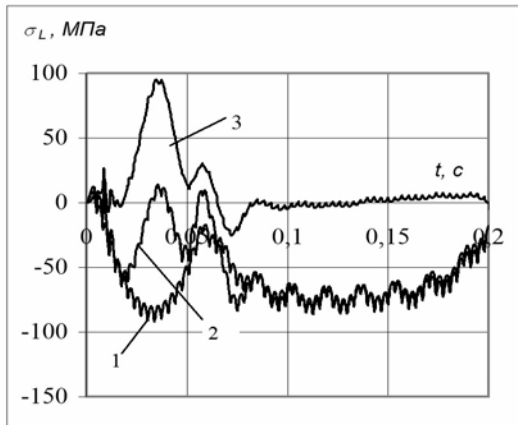


Рис. 2. Напряжения в рельсе под левым колесом

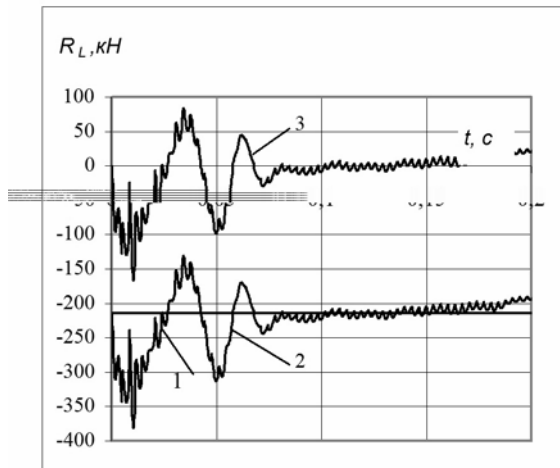


Рис. 3. Силы взаимодействия между левым колесом и рельсом

Анализ построенных осциллограмм показал, что траектории точки касания колес с рельсом характеризуется частотой 17.0 Гц (частота галопирования тележки), а нормальные напряжения в рельсе под движущимися колесами и силы взаимодействия между колесами и рельсом – 53.0 Гц (частота чередования шпал при движении вагона с определенной скоростью, которая определяется выражением v/L). Причем эти частоты проявляются только в пролетной зоне (т. е. между опорами) моста. Следует заметить, что максимальные значения напряжений в рельсе при данной скорости движения не превышают 100 МПа. Наибольшие значения сил взаимодействия имеют место при трогании вагона с места.

Выводы: приведенная методика позволяет существенно повысить качество научно-исследовательских работ при проектировании новых и модернизации существующих железнодорожных мостовых сооружений; прогнозировать прочность и выбрать оптимальные параметры несущих элементов моста при высоких скоростях движения экипажа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пановко Я. Г. Исторический очерк развития теории динамического воздействия подвижной нагрузки. – Тр. Ленингр. Краснознам. воен.-воздуш. инж. акад., 1948. – Вып. 17. – С. 8–38.
2. Крылов А. Н. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики, имеющих приложение в технических вопросах. – Л.: Изд-во АН СССР, 1933. – 472 с.
3. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967. – 444 с.

Поступила в редколлегию 29.09.2005.

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Наведено результати експериментально-теоретичних досліджень з технології ремонтно-відбудовних робіт на спорудах спеціального призначення. Показано можливість підвищення експлуатаційних характеристик відновлених залізобетонних конструкцій за рахунок застосування модифікованих бетонів.

Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований по технологии ремонтно-восстановительных работ на сооружениях специального назначения. Показана возможность повышения эксплуатационных характеристик восстановленных железобетонных конструкций за счет применения модифицированных бетонов.

The article presents the results of experimental and theoretical research on the technologies of repair and reconstruction works at the special purpose structures. A possibility has been shown of increasing operational performance of the renovated reinforced-concrete structures on account of using modified concretes.

При длительных сроках эксплуатации зданий и сооружений специального назначения возникает необходимость решения проблемы восстановления их эксплуатационных характеристик. Это особенно актуально для конструкций, работающих в агрессивных средах, поскольку такие условия часто приводят к потере их несущей способности. К таким конструкциям относятся пролетные строения мостов и эстакад, дымовые трубы, несущие каркасы и ограждающие элементы сооружений.

Проведение ремонтно-восстановительных работ – это трудоемкий и дорогостоящий процесс, требующий разработки технических решений в каждом конкретном случае. Следует отметить, что традиционные способы ремонта заключаются чаще всего в полной замене поврежденных элементов конструкций или же в устройстве различного рода обойм. Однако замена поврежденных элементов конструкций зачастую невозможна по техническим причинам.

Проведение ремонта с применением традиционных бетонных смесей во многих случаях не приводит к полному восстановлению эксплуатационных характеристик конструкций вследствие относительно слабой адгезии ремонтного слоя с поверхностью конструкции [1]. Традиционные технологии отличаются высокой материалоемкостью и не позволяют осуществлять ремонтные работы без остановки технологического процесса.

Как показывает практика, восстановление несущей способности бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах, является наиболее специфичным в отличие от стальных, деревянных и других конструкций.

В современных условиях наиболее часто их восстановление производится на основе обычных бетонов. Однако, как показали исследования, рядовые бетоны не отличаются универсальностью применения для различных видов ремонта. Например, при восстановлении гидроизоляционных и несущих способностей конструкций помещений, находящихся ниже уровня чистого пола, особое внимание уделяется исключению формирования флюидопроявляющих каналов. Особенно важно решение этого вопроса при проведении ремонтных работ в подвальных помещениях, расположенных в зоне повышенного уровня грунтовых вод. Формирование таких каналов возможно как на ранней стадии твердения цементно-песчаного раствора, инъецированного в трещины и макропоры, так и в более поздний период вследствие контракции цементного камня.

Отмеченные недостатки могут быть устранены применением коррозионно-стойких модифицированных бетонов, причем такие материалы должны применяться наряду с традиционными строительными материалами. Учитывая современное экономическое положение, в котором находится Украина, такими областями являются, прежде всего, ремонт и восстановление несущих и ограждающих конструкций, подвергающихся постоянному воздействию агрессивных сред, сооружений, эксплуатирующихся в условиях обводненности, где обычный бетон и сталь не могут быть эффективно использованы. Высокие показатели статической и динамической прочности, износостойкости и химической стойкости модифицированных бетонов позволяют применять их при устройстве хи-

мически стойких полов, емкостей и трубопроводов для хранения и транспортировки агрессивных и биологически активных жидкостей, при строительстве канализационных систем и др.

Причиной нарушения монолитной структуры отремонтированной конструкции является недостаточная прочность сцепления наносимого слоя с материалом поверхности нанесения. Прочное сцепление нового бетона с поверхностью ремонтируемой конструкции имеет решающее значение для восстановления или повышения несущей способности, а также прочности швов и стыков в конструкциях сооружений.

Для получения прочного сцепления необходимы два условия: способность малого объема или малой толщины слоя бетона набирать надлежащую прочность; высокое качество поверхности в месте контакта нового бетона со старым. Усадка и ровная поверхность бетона не являются основными причинами, нарушающими прочное сцепление нового бетона с поверхностью нанесения [2].

Соблюдение приведенных двух основных условий зависит от ряда физико-химических факторов. Основным фактором, оказывающим отрицательное влияние на течение процессов гидратации вяжущего в тонком слое нового бетона, помещенного на ремонтируемую бетонную поверхность или в бетонный шов, является удаление из него воды путем испарения с поверхности и вследствие водопоглощения бетонной поверхностью сооружения. Наиболее благоприятные

условия для течения процессов гидратации вяжущего в тонком ремонтном слое бетона создаются при уменьшении продолжительности действия испарения и водопоглощения, а также при уменьшении величины этих факторов [3].

Такие условия создаются при применении в составе бетонной смеси модифицированной цементной системы. Такая смесь характеризуется высокой водоудерживающей способностью, а также сокращением сроков схватывания и твердения. Поскольку в составе цементной системы содержится высокодисперсный активный кремнезем, то при химическом взаимодействии его со свободной известью образуется дополнительное количество гидросиликатов кальция, способствующих уплотнению цементной матрицы. Этот факт также способствует повышению водонепроницаемости ремонтного слоя. Свойство гигроскопичности аэросила способствует поддержанию влажного режима в твердеющем бетоне. По этой же причине ремонтный слой бетона не требует тщательного ухода.

Исследования осуществлялись в двух направлениях: определение влияния условий твердения на величину адгезии и характер кристаллизации новообразований в зоне контакта; определение роли физико-химических процессов в формировании контактной зоны во времени.

Результаты исследований приведены в табл. 1. В исследованиях использован портландцемент М400.

Таблица 1

Прочность сцепления бетона с восстанавливаемой поверхностью конструкции

Условия твердения	Прочность на сдвиг, МПа			
	обычного бетона с поверхностью		модифицированного бетона с поверхностью	
	естественной	очищенной	естественной	очищенной
Нормальные	2,21	2,64	4,83	5,74
Естественные 15...27 °С	2,13	2,51	4,19	5,64
Естественные 5...12 °С	2,07	2,29	4,11	5,59

Примечание. Приведены средние результаты по испытанию 6 образцов.

Проведя анализ полученных результатов, можно заключить, что прочность сцепления модифицированного бетона независимо от условий твердения и состояния поверхности конструкции превышает прочность сцепления обычного бетона практически в 2 раза.

Таким образом, условия твердения и состояние поверхности не оказывают отрицательного влияния на величину сцепления при применении модифицированной цементной системы.

Для выяснения причин изменения силы адгезионного сцепления нового бетонного покрытия различного состава исследованы состав и характер новообразований в зоне контакта. Принято положение, что поверхность старого бетона является подложкой, на которой прежде всего возникают зародыши новой фазы – продукты гидратации цементной матрицы. Сила адгезии нового бетонного покрытия и поверхности нанесения, главным образом, определя-

ется характером взаимодействия и срастания гидратных новообразований в зоне контакта с кристаллогидратами старого бетона. Состав новообразований в зоне контакта определяли непосредственно с контактируемых поверхностей методами электронной микроскопии и рентгенофазового анализа.

Одной из причин развития деструктивных процессов в контактной зоне цементной матрицы является кристаллизация и превращение сульфатсодержащих фаз. Возникающие в этом случае деструктивные процессы обусловлены частичным распадом гидросульфоалюмината

кальция, выкристаллизовавшегося на ранних стадиях гидратации и входящего в кристаллизационный каркас цементной матрицы (т. н. первичный этtringит), а также кристаллизацией гидросульфоалюмината кальция в поровом пространстве цементной матрицы в более поздние сроки, когда сформировалась структура твердения (вторичный этtringит).

Количество образующегося первичного этtringита, который наряду с другими кристаллогидратами формирует начальную структуру твердения цементной матрицы, зависит от химико-минералогического состава клинкера (табл. 2).

Таблица 2

Количество сульфата, связанного в гидросульфоалюминат кальция в процессе гидратации

Время, ч	Количество сульфата, связанного в гидросульфоалюминат кальция, % общего содержания		
	Сульфатостойкий амвросиевский	Среднеалюминатный балаклеевский	Портландцемент криворожский
0,16	10,5	2,7	31,1
1,00	11,2	3,5	47,2
2,00	11,2	8,3	50,9
3,00	17,4	13,0	54,0
4,00	17,4	16,1	63,3
5,00	18,0	16,8	63,3
6,00	18,6	18,6	63,3
8,00	19,0	19,3	65,2
12,00	19,9	19,9	67,7
18,00	19,9	19,8	68,9
20,00	38,5	20,5	72,0
24,00	42,8	20,5	72,9

Экспериментально установлено, что состав новообразований в зоне контакта обычного ремонтного слоя бетона примерно одинаков независимо от условий твердения и представлен гидроксидом кальция, значительным количеством трехсульфатной формы гидросульфоалюмината кальция, а при ремонте необработанной поверхности еще и кальцитом. Рентгенографически отождествлены: $C_3A(CS)_3H_{31}$ с межплоскостными расстояниями $d = 9,8; 5,6; 3,85 \cdot 10^{-10}$ м; C_4AH_{13} с $d = 7,7...7,8; 3,34 \cdot 10^{-10}$; $Ca(OH)_2$ с $d = 4,91; 2,61; 1,79 \cdot 10^{-10}$ м; гидросиликаты кальция – увеличение линий с межплоскостными расстояниями $d = 3,03; 1,87 \cdot 10^{-10}$ м; $\beta-SiO_2$ с $d = 4,24; 2,45; 2,12; 1,81 \cdot 10^{-10}$ м. Степень гидратации, определенная по величине линий с меж-

плоскостными расстояниями $d = 2,74...2,78 \cdot 10^{-10}$ м, принадлежащих $\beta-C_2S$ и C_3S , у образцов модифицированного бетона несколько выше, отмечен рост количества гидросиликатных фаз.

На дифрактограммах проб контактной зоны модифицированного бетона с поверхностью нанесения как в возрасте 3 сут., так и 28 сут. пики с $d = 9,8$ и $5,6 \cdot 10^{-10}$ м, соответствующие трехсульфатной форме гидросульфоалюмината, отсутствуют, а фиксируются пики с $d = 8,9; 4,48 \cdot 10^{-10}$ м, соответствующие $C_3A(CS)H_{12}$.

Таким образом, модифицирование цемента диэтиленгликоляэросилом создает условия для образования моносульфатной формы гидросульфоалюмината кальция, что способствует возникновению пространственной структуры, не проявляющей в более поздние сроки дест-

руктивных явлений вследствие перекристаллизации тригидросульфата алюмината кальция.

Кроме того, установлено, что введение модификатора в состав бетонной смеси вызывает изменение кинетики гидратации цементной системы, содержание гидросиликатов кальция увеличивается на 13...18 % в течение 28 сут. твердения в сравнении с контрольным составом обычного бетона. Это объясняется возбуждающим эффектом супердисперсного аэросила.

Таким образом, можно сделать вывод, что прочность сцепления бетонного покрытия с поверхностью нанесения зависит от состава и характера кристаллизации новообразований

в зоне контакта, а также от степени их взаимодействия с кристаллогидратами старого бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шестоперов С. В. Долговечность бетонов транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1966. – 278 с.
2. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / Под ред. А. А. Гвоздева // НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1987. – 299 с.
3. Михайлов К. В. Бетон и железобетон в строительстве / К. В. Михайлов, Ю. С. Волков. – М.: Стройиздат, 1987. – 104 с.

Поступила в редколлегию 17.11.2005.

Д. В. ГРЕЦЬКИЙ (ЧДТУ)

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ БІОКОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЗАГЛИБЛЕНІ У СЛАБКІ ҐРУНТИ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Відзначено причини появи геоecологічних проблем підземного простору великих міст. Описані першопричини негативної дії біокорозії в ґрунтових умовах слабких ґрунтів, також приводиться характеристика негативного впливу біокорозії на будівельні конструкції, занурені в ґрунтову товщу. Рекомендуються варіанти дій щодо захисту будівельних конструкцій від біокорозії як конструктивні, санітарно-гігієнічні так і хімічні.

Отмечены причины появления геоecологических проблем подземного пространства больших городов. Описаны первопричины негативного воздействия биокоррозии в ґрунтовых условиях слабых ґрунтов, также приводится характеристика негативного влияния биокоррозии на строительные конструкции, погруженные в ґрунтовую толщу. Рекомендуются варианты действий для защиты строительных конструкций от биокоррозии как конструктивные, санитарно-гигиенические, так и химические.

The article enlists the reasons of occurrence of environmental problems in the underground space of big cities, describes the origins of the negative influence of bio-corrosion in conditions of weak soils, gives characteristics of the influence of a negative state of bio-corrosion on the building constructions submerged into the ground and recommends the options of protecting the building structures from bio-corrosion, including constructive, sanitary & hygienic and chemical measures.

Сучасні тенденції розвитку великих міст припускають інтенсивне освоєння їх підземного простору з метою розміщення комунікацій різного призначення, зокрема, інженерних і транспортних, культурних і торгових комплексів, ряду господарських і сервісних служб тощо.

У даний час підземний простір наших великих міст розглядається як природний ресурс, цивілізоване використання якого в значній мірі покращує середовище проживання людини, дозволяє максимально зберегти природні ландшафти і архітектурно-історичну зовнішність міст.

Під час освоєння і використання підземного простору наших мегаполісів принципове значення має аналіз його геоecологічного стану. При цьому в ході геоecологічної оцінки підземного простору необхідно розглядати сукупність і взаємну обумовленість процесів трансформації природної літо-, гідро- і біосфери під впливом інженерних робіт, функціонування надземних і підземних споруд, з урахуванням їх особливостей будівництва і експлуатації, що може призводити до зміни напруженого стану, зміни термодинамічної і гідродинамічної обстановки масивів ґрунтових порід [1].

Прогресуюче погіршення екологічної обстановки в підземному просторі міст супроводжується не тільки негативною трансформацією стану і властивостей слабких ґрунтів, але і підвищенням рівня агресивності підземного середовища по відношенню до будівельних ма-

теріалів, що використовуються в підземних конструкціях і інженерних комунікаціях.

Специфічне агресивне середовище, що формується в підземному просторі, сприяє розвитку біокорозії. Біокорозію спричиняють бактерії, гриби і актиноміцети, причому діяльність цих організмів, в більшості випадків, супроводить і підсилює хімічне, електрохімічне та інші види корозійного руйнування матеріалів. Відомо, що 50 % всіх втрат від корозії підземних споруд на міських територіях відбувається саме за рахунок біокорозії. До цього виду корозії схильні бетони, залізобетони і металеві конструкції, що використовуються для будівництва підземних споруд, зокрема, тунелів метро, крупних каналізаційних колекторів, опор мостів, конструкцій фундаментів та інших інженерних комунікацій.

Важливо відзначити, що біодеградація (біокорозія) будівельних матеріалів поки не враховується чинними будівельними нормами.

Мета даної статті:

- дати пояснення виникнення геоecологічних проблем підземного простору великих міст;
- описати передумови виникнення негативного екологічного стану ґрунтових умов, що складаються з слабого ґрунту, та дати характеристику впливу цього стану на підземні будівельні конструкції;
- дати можливі варіанти дій щодо захисту заглиблених у ґрунт будівельних конструкцій від несприятливого впливу біокорозії.

За рівнем особливо негативної і тривалої дії на екологічний стан підземного простору мегаполісів слід виділити вплив каналізаційних мереж. Починаючи з передісторії великих міст (XVII ст.) і до теперішнього часу каналізаційно-побутові стоки були основним забрудненням підземної літо- та гідросфери, а також поверхневих вод. Мало відомо, але регіональна каналізаційна система багатьох великих міст почала вводиться в експлуатацію тільки у середині 30-х рр. минулого сторіччя.

Протягом майже 200 років ці стоки скидалися практично без очищення в річкові мережі і канали міст. На цей час стан каналізаційних мереж в українських містах «мільйонерах» (наприклад, Запоріжжя, Дніпропетровськ) не можна визнати задовільним: велика довжина вуличних мереж вимагає повної заміни, мережі функціонують з постійними аваріями. Вплив забруднення підземного простору за рахунок витоків каналізаційної мережі може простежуватися на великій глибині, наприклад, більш ніж 50 м (Васильєвський острів у Санкт-Петербурзі) [2].

Тривалість і безперервність дії каналізаційно-побутових стоків сприяє глибокому перетворенню хімічного складу підземних вод, а також негативним змінам стану і властивостей слабких порід, що знаходяться на рівні водного горизонту. У товщі відкладень забруднених каналізаційно-побутовими стоками спостерігається формування відновлювального середовища за рахунок окислення органічних речовин. Прискорює і посилює подібну трансформацію підземного середовища повсюдне забруднення території міст нафтопродуктами, а також існування похованих звалищ побутового сміття і відходів виробництва, рідка фаза яких звичайно збагачена органічними сполуками. Грунтова вода також містить мікроорганізми – бактерії, грибки тощо. Позбавитися їх практично неможливо. Необхідна для життя бактерій органіка (речовини, що містять вуглець) присутня у каналізаційних системах, потрапляючи туди з окремими елементами системи (труби, клапани) у формі мастила та іншого або під час будівельних робіт (земля та інші забруднення), виділяючись також з пластмасових труб, епоксидних і гумових покриттів тощо.

Наукове пояснення виникнення біокорозії – це попадання в обводнені дисперсні породи мікробітів з каналізаційними стоками і рідкою фазою побутових відходів, а також одночасне надходження різноманітних органічних і неорганічних сполук, які є живильними субстратами

для мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму білкової і небілкової природи, подальше сорбування на мінеральних частинках дисперсних порід згідно з [3].

Швидкість руйнування практично всіх матеріалів, включаючи метали, полімери, будівельні конструкції, в біологічно активних середовищах більш ніж в 3 рази перевершує швидкість руйнування під дією звичайної електрохімічної корозії. Причина цього явища не тільки те, що мікроорганізми використовують компоненти, що входять до складу полімерів, металів і інших матеріалів як продукти харчування, як вже зазначалося вище, а й ферменти, що виробляються мікрофлорою в процесі життєдіяльності. Наприклад, ензими, амінокислоти значно збільшують швидкість електрохімічних процесів корозії, пористість, дефектність і неоднорідність структури полімерних матеріалів, сприяють наростанню внутрішніх напруг і мимовільному локальному розтріскуванню покриттів конструкцій.

Парадоксально, але хімічні адсорбенти, що використовуються для поглинання кисню (тобто для зменшення кисневої корозії), теж сприяють біокорозії, оскільки містять в своїй більшості органіку. Зрештою вона потрапляє з водою, наприклад, 3...5 мг вуглецю на літр (а це лише 3...5 кг на 1 000 м³ води) достатньо для утворення солідної бактерійної плівки на матеріалі конструкції.

Один з гірших варіантів біокорозії виникає тоді, коли кисень потрапляє в звільнену від нього систему. Суміш продуктів біокорозії і кисню викликає значно вищі темпи корозії. Накопичення таких біомас призводить ґрунтові умови, а саме, піски в стан пливунів, а глинисті породи – в набрякаючий квазіпластичний стан. Глинисті породи під час взаємодії з каналізаційними стоками в більшості випадків переходять в текучий стан [4].

Активна мікробіологічна діяльність в анаеробних умовах, що виникає в результаті попадання рідкої фази каналізаційних витоків та побутових відходів у дисперсні умови, часто призводить до утворення біохімічних газів, збільшуючи тим самим небезпеку переходу водонасичених піщано-глинистих порід у рухомий стан, також це може сприяти їх розущільненню. Останнім часом наголошується активізація утворення у слабких ґрунтах наших міст газу-метану в результаті біокорозійних реакцій, в результаті цього – викиди газонасичених розріджених порід, самозапалювання метану, накопиченням газу в підвалах будівель. Генерація газів викликає істотні зміни напружено-деформованого стану в товщах слабких порід.

Стійкість матеріалів щодо біодеградації, можна характеризувати стійкістю їх до водопоглинання. Різні матеріали можуть адсорбувати пари води: своєю поверхнею; за рахунок великої мережі субмікроскопічних капілярів і відкритих пор; у матеріалах з водорозчинними наповнювачами відбувається осмотичне водопоглинання. Органічні матеріали володіють значним вологопоглинанням внаслідок міжмолекулярних проміжків. Речовини з впорядкованим розташуванням молекул володіють меншими вологопоглинанням. Також матеріали з грубою поверхнею здатні адсорбувати значно більшу кількість водяної пари за рахунок збільшення площі контакту. Великим вологопоглинанням володіють шаруваті пресовані матеріали типу гетинаксу, склотканини.

Об'ємне водопоглинання спостерігається у тих матеріалів, яким властива усадка (компаунди, віск) і у матеріалів, у яких з'являються пори за рахунок покриття їх розчинниками (лаками), що випаровуються, а також за рахунок здатності матеріалів віддавати або поглинати леткі речовини (пластики). Слід відмітити, що об'ємне поглинання води матеріалом небезпечніше, ніж адсорбція на поверхні, з тієї причини, що зворотний відтік вологи чи просушування практично неможливо.

Волога, що міститься у матеріалі включає як зв'язану (недоступну для мікроорганізмів), так і вільну (доступну) воду, а початок росту мікроорганізмів на гігроскопічних матеріалах відбувається за таким вмістом вологи, коли з'являється вільна, не зв'язана вода. Наприклад, деревина нижче за точку насичення волокна (30 % вологи) мікроорганізмами не ушкоджується, папір ушкоджується після насичення водою до 8...10 % [5].

Наслідки впливу біокорозії на конструкції можна назвати [6; 7]:

- втрата естетичних властивостей виробів (вони стають тьмяними, з плямистою поверхнею, втрачають природній колір);
- погіршення механічних властивостей і повне руйнування органічних речовин матеріалів конструкцій;
- погіршення діелектричних характеристик;
- активізація процесу корозії металевих деталей.

Згідно з [6–9] прийнято класифікувати ізоляційні матеріали на стійкі і нестійкі по відношенню до біокорозії. Невологостійкими і нестійкими матеріали щодо біокорозії можна назвати [8]:

- целюлоза, деревина хвойних і листяних порід, папери і картони з деревного, ганчіркового і інших волокон на основі целюлози, фібра;

- пластмаси з довговолокнутистим целюлозним або азбестовим наповнювачем (текстоліт, азботекстоліт, азбоцемент, волокніт, К-6, ВЭИ-11, лігнофоль, балініт, дельташпон), бавовняні тканини і пряжа, шовкові стрічки;

- клеї тваринні і рослинні, лаки масляні, полівініловий спирт;

- пластифікатори: діамілфталат, дібутілфталат, діоктилфталат.

Схильні до руйнування біокорозією за даними [6; 7; 9] такі матеріали:

- натуральний, бутадієнстірольний каучук;
- фенолоформальдегідні, меламіноформальдегідні смоли, нітроцелюлоза, полівінілацетат, похідні солей жирних кислот, нітролак, пластифікатори стеарин, ПДЭС-1, азбест М4-5, саж ДТ-100 і БС-120, наповнювач кераген;

- масла і мастила: технічний вазелін, ВСХВ, ПВК, 33-Т, 39-У, ЛПІ-364, ЛПІ-244;

- мильні мастила: ЦІАТІМ-201, ЯНЗ-2, 1-13, ЦНІКОЛ-1 ВР-44, МР-2-ЕР, Miltis RT-35, ВС-3, АР-6, Baragel grease;

- компоненти змащувальних матеріалів: озокерит, церезин, окислений петролатум, масло Б-3В, ціаніди, цинкові покриття, каніфоль.

Матеріали з високою вологостійкістю і стійкістю до дії біокорозії в несприятливих умовах та під дією агресивних умов [8].

Поліетилен, фторопласт 4 (тефлон), поліізобутилен і поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид і полівініліденхлорид, органічне скло, феноло- і крезоло-формальдегіди, пластмаси, смоли меламіно-формальдегідів, смоли аніліно-формальдегідів, смоли мочевино-формальдегідів, ебоніт, епоксидні смоли, триацетат і ацетобутират целюлози, кремнійорганічні смоли, каучуки, вископлавкі бітуми, пластифікатори – похідні адіпінової і фосфорної кислоти і хлоровані вуглеводні.

Стійкість до дії мікроорганізмів пластмас обумовлена стійкістю в'язучого, наповнювачів, пластифікаторів і інших компонентів. Деякі автори вказують на те, що пластмаси уражаються мікрогрибами за рахунок їх гетерогенності [9].

Висновки

Оскільки біокорозія визначається біологічними процесами (складнішими і менш передбаченими порівняно з хімічними), вона є складнішою. І боротьба з нею це досить складна проблема, особливо в умовах залягання слабого ґрунту.

Для запобігання біокорозії застосовуються такі заходи (конструктивні, санітарно-гігієнічні, хімічні) [6; 7; 10]:

- часткова або повна герметизація конструкцій з метою запобігання попаданню вологи зі сторони ґрунту;

- зниження нерівності і пористості поверхні;
- придання поверхні водовідштовхувальних властивостей;
- використання біостійких матеріалів;
- введення біоцидів і фунгіцидів в нестійкі матеріали;
- у разі використання для захисту матеріалів конструкцій речовин на основі целюлози необхідна їх стерилізація або просочення біоцидами (леткими фунгіцидами і інгібіторами корозії – це можуть бути нітрит циклогексиламіна або метанітробензоат гексаметіленаміна), оскільки нестерильні папір, картон та інші завжди схильні до зараження спорами грибів.

Біохімічно стійкі захисні покриття дозволяють продовжити термін служби елементів будівельних конструкцій з чорних металів з 2...3 до 10...15 років, замінити алюміній і нержавіючу сталь на більш дешевшу вуглецеву сталь, яка в 6...7 разів дешевше.

Згідно з [11] експериментально встановлено поліпшення властивостей ізоляційних полімерних стрічок для антифрикційного захисту конструкцій в умовах слабого ґрунту, у разі з'єднання їх за допомогою своїх липких сторін, що попередньо влаштовані, або з'єднання за допомогою клею, що стійкий до біодеградації. Адгезія в напусканні при цьому збільшується більш ніж у 5 разів, водопроникність зменшується більш ніж в 2 рази.

З урахуванням сказаного, при освоєнні слабого ґрунтового простору мегаполісів в умовах наростаючої напруженості і погіршення екологічної ситуації, особлива увага повинна бути приділена проблемі вибору будівельних матеріалів, що стійкі в умовах високої агресивності ґрунтового середовища і таких, що забезпечують надійність експлуатації підземних споруд і комунікацій. Будівництво, експлуатація, реконструкція і реставрація підземних споруд в складній геологічній обстановці повинно вимагати індивідуального підходу і проведення комплексних нетривіальних досліджень за спе-

ціально розробленими програмами. Тільки на основі таких досліджень може бути гарантована надійність проектних рішень і забезпечення довговічності всіх типів міських, промислових, транспортних споруд, а також пам'яток культури і архітектури.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Справочник проектировщика. Градостроительство. (Охрана окружающей среды). – М.: Стройиздат, 1986. – 520 с.
2. Карамазинов Ф. М. Проблемы водопроводно-канализационного хозяйства Санкт-Петербурга / Ф. М. Карамазинов, С. Г. Гумен // Научные и технические аспекты окружающей среды, ВИНТИ, – 1995. – № 3. – С. 24–28.
3. Рачев Х. В. Справочник по коррозии / Х. В. Рачев, С. И. Стефанова. – М.: Мир, 1982. – 380 с.
4. Дашко Р. Э. Эволюция геозекологического состояния подземного пространства Санкт-Петербурга / Р. Э. Дашко, Л. П. Норова, Е. С. Руденко // Разведка и охрана недр, 1998. – № 7, 8. – С. 57–59.
5. Ильичев В. Д. Биоповреждения / В. Д. Ильичев, Б. В. Бочаров, А. А. Анисимов. – М.: Химия, 1987. – 200 с.
6. Ильичев В. Д. Экологические основы защиты от биоповреждений. – М.: Химия, 1985. – 316 с.
7. Андреюк Е. И. Микробная коррозия и ее возбудители. – М.: Химия, 1980. – 318 с.
8. Яманов С. А. Новые электроизоляционные материалы и проблемы надёжности. – М.: Стройиздат, 1971. – 68 с.
9. Белоконь Н. Ф. Влияние биокоррозии на некоторые свойства пластических масс // Пластические массы, 1972. – № 7. – С. 3–7.
10. Войтович В. А. Биологическая коррозия / В. А. Войтович, Л. Н. Мокеева. 1980. – № 10. – С. 3–5.
11. Мустафин Ф. М. Исследование адгезии и водопроницаемости у полимерных изоляционных лент и обёрток с двусторонним липким слоем / Ф. М. Мустафин, Р. А. Харисов, И. Р. Фархетдинов // Сооружение и ремонт газонепроводов и газонепрозрачных труб: Сб. науч. трудов – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. – С. 161–167.

Надійшла до редколегії 14.10.2005.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Пропонується новий підхід до оцінки параметрів реалізації об'єктів будівництва, що враховує чинники якості і кількості ресурсів, організаційно-технологічні схеми, параметри часу. Такий підхід дозволяє інтегровано розглядати такі важливі параметри як продуктивність (кількість і якість ресурсів) час і вартість, що підвищить реалістичність оцінок тривалості і вартості реалізації проекту.

Предлагается новый подход к оценке параметров реализации объектов строительства, учитывающий факторы качества и количества ресурсов, организационно-технологические схемы, параметры времени. Такой подход позволяет интегрированно рассматривать такие важные параметры как производительность (количество и качество ресурсов) время и стоимость, что повысит реалистичность оценок продолжительности и стоимости реализации проекта.

The article proposes new approach to estimation of parameters of construction projects realization, taking into account the factors of quality and scope of resources, organizational & technological flowsheets, the parameters of time. Such an approach allows examining in their integrity such important parameters as the productivity (the amount and quality of resources), time and cost, which will improve the accuracy of the estimations of duration and cost of a project realization.

Известно, что ресурсы (мощность), продолжительность и стоимость являются взаимосвязанными параметрами строительного проекта. В то же время в традиционной методологии эти сферы изолированы друг от друга. Специалист по стоимости (сметчик) занимается определением стоимости исходя из перечня работ, их объемов и нормативных данных (ДБН) и своими оценками влияет на остальные сферы.

Менеджер (управляющий) по организации работ занимается выбором организации работ, выбором организационно-технологических схем, распределением имеющихся или доступных ресурсов, определяет продолжительность выполнения работ и объекта в целом, исходя из требований по срокам (раньше были нормы продолжительности) или исходя из ресурсов. И опять таки своими решениями влияет на другие сферы. При этом решения эти не касались стоимости, хотя напрямую влияли на ее величину. И поэтому окончательный результат редко имел необходимую степень соответствия со сметой и плановыми сроками.

Поэтому проблема интегрированного рассмотрения по времени, производительности и стоимости имеет фундаментальное значение для эффективной реализации строительного проекта [1; 2].

Планирование относится к наиболее важному и ответственному этапу процесса реализации строительного проекта и определяется полезностью информации, которую можно получить в результате выполнения этого процесса, и зави-

сит от содержания строительного проекта. К основным процессам планирования относятся:

- описание и планирование содержания объекта строительства, определение основных этапов реализации, декомпозиция их на более мелкие управляемые блоки;
- определение и формирование перечня конкретных работ, выполнение которых обеспечивает достижение целей проекта;
- планирование последовательности работ, определение взаимосвязи между работами и ограничений на работы;
- определение и планирование ресурсов по количеству и времени их использования;
- определение продолжительности выполнения работ, планирование сроков, расписания;
- оценка и планирование затрат, структуры затрат по каждой работе, по этапам и проекта в целом;
- составление сметы и бюджета проекта.

Содержание и объемы планирования зависят и от уровня управления. Определение уровней планирования является также предметом планирования и зависит от конкретного проекта. Одна из основных проблем интеграции параметров времени, производительности (ресурсы) и стоимости это не соответствие уровней детализации смет, составляемых по существующим нормативным документам (ДБН), и графика производства работ (расписание) [1; 2]. При составлении сметы определяется стоимость работ и строительства объекта в целом на основе объемов работ или на основе времени. Поэтому сметчики, работающие над составле-

нием смет, не учитывают план производства работ, объединяя, например, в одной расценке одинаковые работы по всему объекту, что не совсем удобно с точки зрения контроля стоимости и управления или, когда сметчик для учета затрат набирает группу расценок, характеризующую одну работу, при этом смета получается слишком детальная, что опять-таки не подходит для целей контроля и управления. Идеальным было бы, когда смета структурируется в соответствии с задачами управления на основе графиков в системе управления проектами.

Поэтому планы (графики, таблицы, сметы) как выражение результатов процессов планирования должны образовывать в совокупности структуру пирамидальную по уровням управления, материальную по элементам проекта и по функциям, должны обладать свойствами агрегирования и деагрегирования информации, по срокам (этапам), по структурам статей затрат и т. д.

Итак, имеются следующие исходные данные по объекту:

- перечень работ, их содержание и объемы;
- необходимые ресурсы для выполнения отдельных работ, рекомендуемые ресурсной элементной сметной нормой [1; 2];
- нормативные данные о трудозатратах и затратах времени машин и механизмов.

На основе этих данных существующая методология разрабатывает локальные и объектные сметы, т. е. стоимость (затраты) на строительство.

Необходимо отметить, что этих данных для реалистичной оценки стоимости недостаточно. Прежде всего, нет данных о методах и способах производства работ (технология). При выборе технологии есть большая доля субъективизма. Конечно, можно выбрать из существующих технологий отвечающим по критерию минимума времени или минимум стоимости. При составлении сметы не учитывается количество ресурсов, ограничения по ресурсам, технологические ожидания сменности. А эти упомянутые факторы, так или иначе, влияют на стоимость производства работ. Также не учитываются взаимосвязи между работами (организационно – технические схемы), которые тоже влияют на стоимость и продолжительность.

Для реалистичной оценки продолжительности выполнения работ и объекта в целом дополнительно необходимо:

- количество ресурсов их характеристики и условия использования;
- ограничения по использованию (по количеству и времени) ресурсов на каждой работе;
- последовательность выполнения работ в их (организационно-технологические схемы) взаимосвязи.

Как видим структура работ, количество и качество ресурсов – основные данные для определения стоимости и продолжительности работ и проекта в целом.

Структура работ – иерархическая структура последовательностей декомпозиции проекта на подпроекты, пакеты работ различного уровня.

Структура работ является базовым средством для создания системы управления проектами, так как позволяет решать проблемы организации работ (планирования), распределения ответственности, оценки стоимости, создания системы отчетности, эффективно поддерживать процедуры сбора информации о выполнении работ и отображать результаты в информационной управленческой системе для обобщения графиков работ, стоимости, ресурсов и целей завершения работ и проекта.

Если все работы проекта упорядочить в технологическую последовательность, то получим технологический граф (технологический сетевой график), в котором нет ни времени, ни количество ресурсов, ни стоимости выполнения работ. Но имеются объемы работ в нормо-часах (чел.-час, маш.-час), определенные с использованием РЭСН [4].

При построении такого графа учитываются условия максимального совмещения разнородных работ в одной захватке (если по видам объект разделен на захватки), пространственное совмещение однородных работ по времени, ограничения в заданной последовательности работ, ограничения по фронту работ (допустим: на одной захватке работает только один кран или одна бригада).

В таком технологическом графе одни работы будут заданы объемами работ в нормо-часах – чел.-час, а другие работы в нормо-часах, маш.-час, в зависимости от содержания работ и лимитирующего ресурса, а может быть задано и то и другое.

Расчет такого технологического графа в нормо-часах покажет, от каких работ будет зависеть общая продолжительность реализации строительного проекта.

Возникает вопрос, достаточно ли такого расчета для оценки продолжительности и стоимости выполнения работ и проекта в целом? Конечно, не достаточно. Необходимо знать и ограничения по количеству ресурсов на каждой работе, по каждому типу ресурсов. Для выполнения любых работ в строительстве могут потребоваться больше чем один вид ресурсов, причем их количество и состав могут быть различными для разных работ проекта. Например,

для монтажа железобетонных конструкций требуется минимум кран, монтажники и сами конструкции. Недостаток хотя бы одного вида ресурсов сразу скажется на продолжительности и на стоимости производства работ.

Все возможные ограничения по количеству ресурсов могут быть сведены к следующим:

1. Количество ресурсов для выполнения работы строго фиксировано, т. е.

$$r_{ij}^T = \text{const} .$$

Это означает, что при известном объеме работ в нормо-часах (чел.-ч, маш.-ч) фиксированную продолжительность выполнения работ. Например: монтаж колонн маш.-ч и работает только один кран рекомендуемым составом монтажников. Такие ограничение отражает постоянство интенсивности выполнения работ и использования ресурсов.

2. Количество ресурсов ограничено только сверху, т. е.

$$r_{ij} < r^n \text{ max} .$$

Такое ограничение означает возможность выполнения работ с меньшим количеством ресурсов, чем требуется или рекомендуется. Например: монтаж тех же железобетонных колонн РЭСН косвенно рекомендует 8 человек монтажников. Можно работу производить и 7, 6, 5, 4 и даже 3 монтажниками. Такое ограничение отражает переменную интенсивность выполнения работ и нефиксированность (неопределенность) продолжительности ее выполнения. Наличие такого типа ограничений на работах проекта требует определения продолжительности работ с учетом общих ограничений для всего проекта.

Количество ресурсов для выполнения работ ограничено и сверху и снизу, т. е

$$r_{\min} \leq r_{ij}^n < r_{\max} .$$

Такое ограничение, как и ограничение второго типа, означает возможность выполнения с переменной интенсивностью и определения продолжительности работ. В этом ограничении верхняя граница (r_{\max}) обычно обусловлена возможностью максимального насыщения фронта работ ресурсами. Нижняя граница может быть обусловлена организационными, технологическими факторами и условиями труда, техники безопасности и т. д.

Конечно, может быть и ограничение снизу, что будет означать возможность выполнения работ любым количеством ресурсов, что нереально на практике, хотя имеются случаи.

Следующим важным фактором при планировании реализации строительного проекта является технологическая и организационная последовательность выполнения работ проекта. Возможность начала выполнения любой работы обусловлена не только наличием необходимых ресурсов в данный момент времени, но и окончанием технологически предшествующих работ. Технологическая и организационная последовательность двух смежных работ по времени может быть выражена следующими условиями предшествования:

$$t_{ij}^H + t_{ij} \leq t_{jk}^H, \quad t_{ij}^o \leq t_{jk}^H,$$

где t_{ij}^H – время начало работы $i - j$; t_{jk}^H – время начала последующей работы $j - k$; t_{ij} – длительность выполнения работы $i - j$; t_{ij}^o – время окончания работы $i - j$.

Эти условия предшествования отображаются при построении технологического графа с учетом условий технологического совмещения. Все работы, которые могут быть выполнены параллельно во времени должны быть изображены параллельно. Далее решается задача распределения имеющихся или достигнутых ресурсов по работам проекта, в результате которого получаем продолжительности реализации проекта [1].

Технологические графы, сетевые графики и другие упорядочивают работы проекта в технологической и временной последовательности и, если соблюдается это заданная последовательность, то объект рано или поздно будет завершён.

Важнейшим условием (требованием) реализации строительного проекта является его продолжительность то есть в заданные (требуемые) или в минимальные сроки – временная цель.

Третьим необходимым условием, гарантирующим реализацию плана проекта является наличие необходимых и достаточного количества ресурсов, требуемых для выполнения работ проекта.

Как было указано выше при построении технологического графа реализации строительного проекта не следует одновременно планировать (рассматривать) ресурсы, стоимости и технологическую последовательность работ в проекте. Необходимо сосредоточить внимание только на логике (анатомии?) проекта, забыв о ресурсах и стоимости. Упорядочение работ в технологическом графе основано только на технологической последовательности и временных совмещений работ.

Из изложенного видно, что распределение ресурсов является органической и существенной частью планирования реализации проекта. Оно (распределение) отвечает на вопрос является ли план ресурсно (физически) реализуемым. План годится для дела только тогда, когда имеются в наличии все необходимые ресурсы, и по которому можно работать.

Выводы

Из вышеизложенного вытекает следующая последовательность шагов для оценки продолжительности и стоимости работ и проекта в целом:

1. Построение технологического графа, исходя из структуры разбиения работ проекта, с учетом максимального технологического и пространственного совмещения в выполнении работ.

2. Определение объемов работ в нормах для каждой работы, исходя из физического объема работ и норм времени.

3. Формирование временных, организационных и ресурсных ограничений по всем работам проекта.

4. Распределение наличных или доступных ресурсов по работам проекта, исходя из эффективности их использования (непрерывность, равномерность) – ресурсные цели.

5. Оценка продолжительности работ и проекта в целом с учетом и без учета ограничения на ресурсы.

6. Оценка стоимости работ (прямых затрат) и проекта в целом (с учетом накладных расходов).

7. Разработка графика (расписание) работ, графика затрат, бюджета проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Залунин В. Ф. Стратегия и тактика строительных фирм в рыночных условиях. Наука и образование, – Д., 1999. – 352 с.
2. Організація будівельного виробництва ДБН. Держбуд України. 2000. – 352 с.
3. Тянь Р. Б. Управління проектами ДУОП / Р. Б. Тянь, Б. И. Холод, В. А. Ткаченко. – К. 2003. – 224 с.
4. Ресурсные элементные сметные нормы. Держбуд України. – К. 2000.
5. Одинский В. Г. Особенности разработки интегрированной системы планирования и контроля реализации проекта // Вісник ПДБА. – 2003. – № 9. – С. 38–44.
6. Чашин Д. Ю. Проблема разработки структуры строительного проекта // Управление проектами, организация: Сборник научных трудов: экономика, менеджмент, маркетинг. – Д.: Наука и образование. – 2003. – Вып. 3. – С. 203–207.

Поступила в редколлегию 28.09.2005.

БЕТОНЫ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Наведені результати експериментально-теоретичних досліджень технології ремонтно-відбудовних робіт на спорудах спеціального призначення. Наведені дослідні дані визначення міцності бетону на активованій в'язучій речовині при витримуванні в сульфатному середовищі, що підтверджує істотне підвищення експлуатаційних характеристик бетону на активованій в'язучій речовині, використаного під час ремонту і відновлення транспортних споруд.

Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований технологии ремонтно-восстановительных работ на сооружениях специального назначения. Приведены опытные данные определения прочности бетона на активированном вяжущем при выдерживании в сульфатной среде, что подтверждает существенное повышение эксплуатационных характеристик бетона на активированном вяжущем, использованного при ремонте и восстановлении транспортных сооружений.

The article presents the results of experimental and theoretical research of the repair & restoration technologies at the special purpose structures. Experimental data have been provided for determining the strength of concrete, based on activated binder and matured in a sulfate medium. This confirms an essential improvement of operational performance of the concrete based on activated binder, used at repairs and reconstruction of the transport structures.

Процесс проведения подводных и надводных работ по восстановлению несущих бетонных и железобетонных конструкций различных сооружений является наименее изученным, требующим совершенствования. Как правило, выполняемые ремонтно-строительные работы в надводной части сооружений предназначены для восстановления защитных слоев или формы конструкций. Более сложные задачи ремонта возникают в подводной части сооружений. В результате совместного действия воды как среды механического воздействия течений и растворяющего действия жидкости повреждения конструкций носят более сложный характер. Подводный ремонт зачастую требует наращивания поврежденных конструкций, тампонирувания подмывов, ликвидации трещиноватости и выщелачивания бетона.

Опыт подводного строительства невозможно механически переносить на ремонт и восстановление подводных конструкций транспортных сооружений. Организация ремонтных и восстановительных работ на транспортных искусственных сооружениях, в особенности в их подводной части, является наиболее сложной и малоизученной проблемой. Это связано со специфическим характером разрушения подводных частей сооружений, их различной конструктивной формой и условиями выполнения работ при частичном ограничении движения транспортных потоков.

Опыт и специальные исследования подводного бетонирования показывают, что требования только по прочности и подвижности недостаточны для определения пригодности бетона разных составов для специальных восстановительных работ [1]. Бетонная смесь после укладки под воду испытывает воздействие специфических условий, резко отличающихся от условий бетонирования на суше. Исследованиями установлена необходимость предъявления к подводному бетону повышенных требований в сравнении с укладываемым на воздухе, в частности, к кавитационной стойкости. К числу проблем технологии подводного бетона относится обеспечение долговечности искусственных сооружений, а также их стойкости в агрессивных средах.

Основным принципом производства подводных бетонных работ при восстановлении и ремонте транспортных сооружений является такое введение бетонной смеси, цементного теста или раствора под воду, при котором исключается изменение их состава, а твердение происходит в опалубке или без нее с обеспечением комплекса заданных свойств материала.

Реализация этого принципа в подводных условиях достигается производством работ разработанным комбинированным способом ремонта и восстановления искусственных транспортных сооружений, в основе которого лежит применение бетонных смесей на активированном вяжущем [2]. Такие бетонные смеси обес-

печивают высокие технологические и эксплуатационные свойства ремонтного покрытия: связность смеси при повышенной подвижности, нерасслаиваемость, медленное схватывание, но быстрое твердение в воде, повышенную прочность бетона, высокую водонепроницаемость, стойкость в агрессивных средах, надежное сцепление нового бетона со старым. При этом соблюдается основное требование технологии подводного бетонирования, состоящее в непрерывном ведении ремонтно-восстановительных работ с сокращением их продолжительности.

Качество ремонта искусственных транспортных сооружений и восстановление их несущей способности, в основном, определяется прочностью сцепления нового бетона с поверхностью старой кладки. Анализ состояния отремонтированных элементов транспортных сооружений показал, что в большинстве случаев происходит расслоение нового бетона со старым. Исследованиями установлено, что прочность сцепления нового бетона со старым определяется тремя факторами: дисперсностью и морфологией новообразований цементной системы нового бетона; состоянием (рельефом и характером пористости) ремонтируемой бетонной поверхности, а также физико-химической активностью покрывающих слоев (растительного, животного, пылевидного) старого бетона. Повышение прочности сцепления нового бетона со старым при ремонте и восстановлении транспортных сооружений возможно путем применения специально разработанной активации вяжущего [3].

Проведенный анализ существующих способов активации вяжущего показал, что для условий подводного бетонирования они практически неприменимы, тогда как предложенный способ физико-химической активации цементной системы показал высокую эффективность при проведении ремонтно-восстановительных работ. При этом полученное бетонное покрытие отличается высокой эксплуатационной стойкостью [4].

Впервые в технологии подводных бетонов при активации вяжущего использовано физическое явление кавитации, действующей на все компоненты цементной системы. В отличие от интенсификации перемешивания или пьезоэлектрического воздействия, кавитационный процесс приводит к триаде активационных воздействий на цементную систему, состоящей из диспергирования частиц цемента и вскрытия силикатных структур, поверхностной активации частиц микронаполнителя с образованием некомпенсированных структурных связей, а

также перехода жидкой фазы на высший уровень энергетического состояния. Впервые доказано, что физико-химическая активация цементной системы происходит при столкновении встречных потоков материальных частиц, находящихся в жидкой среде. При этом, как показали эксперименты, струи образуют два фронта ударных волн. Это происходит вследствие скачка уплотнения материальной среды, в которой возникает переходная область, распространяющаяся далее со скоростью, близкой к звуковой. Наложение ударных волн в жидкой среде приводит к образованию зон пульсирующего знакопеременного поля ультразвуковой частоты. Эти положения подтверждены электромагнитным методом путем анализа частотного спектра ультразвуковой природы.

Пульсирующее поле ультразвукового давления в жидкой среде затопленных струй интенсифицирует спонтанное образование кавитационного пространства вокруг частиц встречных потоков, сопровождающегося возникновением кумулятивных струй. Совокупность указанных процессов вызывает мощное кавитационное воздействие на частицы вяжущего и микронаполнителя, которое, как установлено экспериментально, приводит к диспергированию зерен цемента. Этому способствует также развитие резонансных явлений в результате совпадения частот вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний диспергируемых частиц. Созданный активационный импульс значительно превышает порог активации. Существование порога активации доказано экспериментально по изменению физико-механических характеристик, а также морфологии и состава новообразований цементного камня.

Введение в цементное тесто в процессе физико-химической активации органо-минерального комплекса (ОМК) создает предпосылки для оптимизации процесса формирования структуры цементного камня. В таком комплексе молекулы дозированного органического пластификатора прививаются к частицам неорганического компонента. В процессе физико-химической активации они равномерно распределяются и сосредотачиваются в местах подвижных агрегатных контактов пространственной структуры цементного теста и не оказывают пассивирующего влияния на процессы гидратации. Органо-минеральный комплекс обеспечивает улучшение физико-механических характеристик цементного камня и бетона [5].

Условия, создающиеся в течение физико-химической активации цементной системы, способствуют повышению физико-механических

характеристик подводного бетона и являются одной из главных причин повышения прочности сцепления нового бетона со старым. Для достижения прочного сцепления необходимы два условия: способность малого объема или слоя бетона малой толщины набирать надлежащую прочность, а также высокое качество поверхности в месте контакта нового бетона со старым. Причиной нарушения монолитной структуры бетонного слоя является недостаточная прочность сцепления наносимого слоя с материалом поверхности нанесения.

Как следует из результатов исследований, прочность сцепления нового бетона на активированном вяжущем независимо от условий твердения превышает прочность сцепления обычного бетона в возрасте 3 сут в 3,1...3,4 раза при нанесении на естественную поверхность. Этот показатель при ремонте очищенной поверхности возрастает до 4 раз. В возрасте 28 сут. прочность сцепления увеличивается практически

в 3 раза независимо от состояния поверхности нанесения. Таким образом, можно сделать вывод, что условия твердения и состояние поверхности не оказывают отрицательного влияния на величину сцепления при применении активированного вяжущего.

При производстве подводных бетонных работ особое внимание уделяется повышению коррозионной стойкости бетона. Как следует из результатов исследований, в новообразованиях цементного камня бетона на активированном вяжущем содержание свободного гидроксида кальция не превышает 3...4 %, что является необходимым условием для получения коррозионностойкого материала. При исследовании стойкости бетона подводного твердения в сульфатной среде с концентрацией SO_4^{2-} 10 г/л определялось изменение прочности при сжатии образцов различной продолжительности выдерживания в агрессивной среде, а также содержание в них сульфатов (таблица).

Таблица

Прочность бетона на активированном вяжущем при выдерживании в сульфатной среде

Марка цемента, вид бетона и условия хранения		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.			K_c в возрасте 180 сут.
		28	90	180	
400	Обычный, погруженные	31,3	30,2	27,1	0,77
	Обычный, переменный уровень	28,1	28,7	29,1	0,78
	На активированном вяжущем, погруженные	53,4	57,1	59,1	0,91
	На активированном вяжущем, переменный уровень	52,1	56,6	57,7	0,91
500	Обычный, погруженные	38,1	39,3	37,2	0,79
	Обычный, переменный уровень	35,1	36,9	34,8	0,78
	На активированном вяжущем, погруженные	58,6	62,5	67,3	0,92
	На активированном вяжущем, переменный уровень	58,7	61,4	64,2	0,93

При выдерживании образцов обычного бетона в сульфатной среде наблюдается снижение прочности при сжатии на 12...23 % в зависимости от продолжительности выдерживания и марки использованного портландцемента. Начиная с 38 сут. для образцов на портландцементе М400, а с 52 сут. – на портландцементе М500, на поверхности наблюдалось трещинообразование, изменялся цвет образцов в зоне сильной сульфатизации. Снижение прочности

бетона на активированном вяжущем практически незначительно и составляет 3...6 %, причем его коэффициент сульфатостойкости K_c находится в пределах 0,91...0,93. Стабилизация прочности во времени свидетельствует о преимуществе конструктивных процессов над деструктивными.

При введении активированной цементной системы в состав бетонной смеси удалось снизить открытую пористость до 8...9 % в зависи-

мости от состава. Проведенными испытаниями на водонепроницаемость ремонтного слоя бетона установлено, что бетон на активированном вяжущем отвечает марке по водонепроницаемости $W 10 \dots 12$ в зависимости от состава.

Обобщая результаты экспериментальных исследований как прочности сцепления нового бетона со старым, так и свойств ремонтного покрытия, следует отметить существенное повышение эксплуатационных характеристик бетона на активированном вяжущем, использованного при ремонте и восстановлении транспортных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пунагін В. М. Проектування складів гідротехнічного бетону / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М Руденко. – Д.: Арт-Пресс, 1998. – 192 с.

2. Пшінько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений. – Д.: Пороги, 2000. – 412 с.
3. Пат. 37979 А UA, МПК 7 C04B40/00. Спосіб активації в'язучої системи / О. М. Пшінько, В. М. Пунагін, Н. М. Руденко, В. О. Герасименко; Дніпропетр. держ. технічн. ун-т залізн. трансп. – № 2000052723; Заявл. 15.05.2000; Опубл. 15.05. 2001; Бюл. № 4. – 3 с.
4. Пшінько А. Н. Особенности ремонта искусственных транспортных сооружений / А. Н. Пшінько, Н. Н. Руденко // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 2. – С. 14–16.
5. Руденко Н. Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 260 с.

Поступила в редколлегию 17.11.2005.

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РОЗПОДІЛУ ОБМЕЖЕНИХ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Під час організації відновлення навіть окремих об'єктів виникають великі труднощі з розподілом ресурсів. Дослідження призначено відшукати оптимальні варіанти розподілу трудових ресурсів.

При организации восстановления даже отдельных объектов возникают большие трудности с распределением ресурсов. Исследование предназначено для поиска оптимальных вариантов распределения трудовых ресурсов.

In organization of renewal of even some construction objects, there may be great difficulties with distribution of resources. This study aims at a search of optimal options of distribution of labours resources.

Виходячи з технологічної можливості сучасної будівельної фірми, оскільки визначення оптимальної тривалості відновлення окремого об'єкта не може розглядатися як самостійна задача без урахування організації робіт з виконання виробничої програми (її обсягів, технології виконання робіт, з одного боку, та ресурсів будівельної фірми, яка виконує роботи, – з іншого). Визначення оптимальної стратегії відновлення окремого об'єкта залежить від оптимальної організації робіт з реалізації виробничої програми.

Діяльність будівельних фірм в сучасних умовах не може будуватися інакше як за єдиною моделлю, мета якої – скласти графік робіт для різних виконавців з обов'язковим зазначенням строків початку та закінчення робіт, а також кількості необхідних ресурсів для їх виконання. Для цього може бути побудована нескінченна множина допустимих розв'язків, що різняться варіантами розподілу наявних ресурсів, строками виконання робіт тощо. Тому ос-

новним завданням є – отримати таке рішення, яке найкраще відповідає конкретній виробничій ситуації та поставленій меті.

Практика показує, що вироблення рішень з виконання робіт на окремих об'єктах не забезпечує потрібної координації в діяльності будівельної фірми та не дозволяє досягти ефективності в масштабі організації, яку можна отримати при збалансованому функціонуванні окремих, але взаємопов'язаних частин, які дають вищу загальну ефективність, ніж їх сумарна ефективність (синергетична характеристика).

Невдачі, пов'язані з розробкою моделей відновлення окремих об'єктів, викликають необхідність моделювання виробничої програми низової організації та на цій основі раціонального розподілу наявних ресурсів. Залежно від поставленої мети та прийнятих критеріїв оптимальності розроблена класифікація постановок задач з раціональним розподілом ресурсів (рисунок).

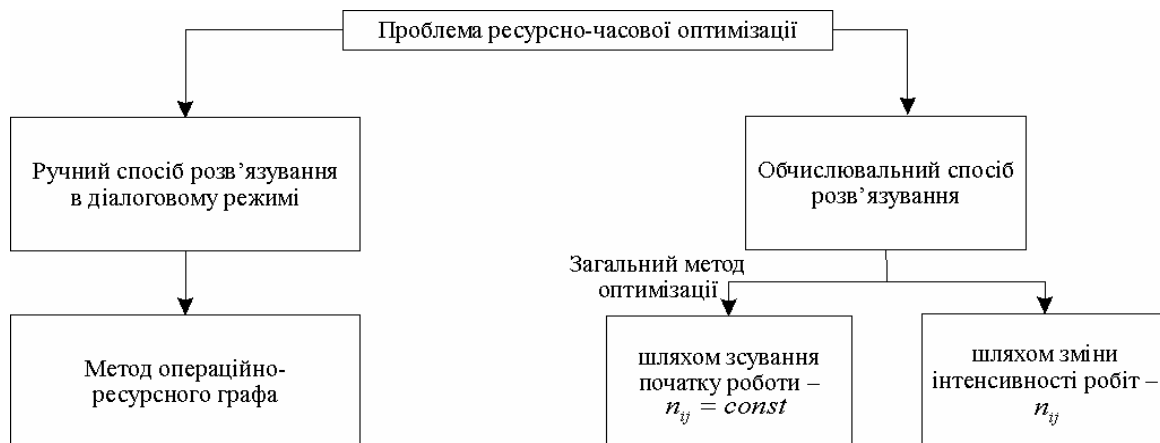


Рис. Шляхи вирішення проблеми РЧО

Відшукування оптимального варіанту зводиться до визначення доцільних режимів виконання різних комплексів робіт при заданих технологічних і організаційних обмеженнях. У практиці виконання робіт на вибір режимів впливають такі фактори: наявність трудових ресурсів і фронту робіт по об'єктах, склад і спеціалізація будівельних бригад для відновлення різних об'єктів, концентрація капітального відновлення, задані строки відновлення об'єктів, змінність робіт.

Виходячи з конкретних умов діяльності будівельної організації, структури робіт, конструктивних особливостей об'єктів, необхідно встановити не один режим виконання робіт, а деякий діапазон, у межах якого можна «стиснути» або «розтягнути» роботи в часі шляхом зміни швидкості їх виконання, узгодженої з кінцевою метою діяльності будівельної організації.

Режим виконання робіт встановлюють відповідальні виконавці на основі наведених факторів. Але досвід свідчить, що комплектація бригад часто носить випадковий характер і не відповідає рекомендаціям нормативно-дослідних інстанцій. У конкретних випадках доцільно об'єктивно встановити кількість виконавців (бригад, ланок) для виконання різних робіт у сітвовій моделі. Тому варіанти концентрації ресурсів і наявний фронт робіт є обмеженнями на формування режимів виконання робіт.

Проблема ресурсно-часової організації (РЧО) полягає в такому розподілі виконавців за окремими роботами, щоб в будь-який час потреба в них не перевищувала їх обмеженої кількості, а тривалість сітвового процесу була мінімальною. Основні шляхи вирішення цієї проблеми можна подати схемою (див. рисунок).

Практика показала, що більш гнучкими є методи, які допускають зміну інтенсивності робіт. Тому в модель необхідно ввести умови, що визначають варіанти можливої інтенсивності виконання кожної роботи, через що тривалість носить змінний характер. За таким підходом можна реально виявити інтенсивність виконання кожної роботи, виходячи з кінцевої мети діяльності будівельної організації.

Режим виконання роботи $(i, j) \in A$ графа $G(U, A)$ визначається показниками її тривалості та інтенсивності. Тривалість виконання роботи (i, j) s -ї бригади

$$\tau_{ij} = Q_{ij} / n_{ij}^s \quad (i = 1, 2, \dots, n-1; j = 2, 3, \dots, n), \quad (1)$$

де Q_{ij} – трудомісткість роботи (i, j) , людиноднів; n_{ij} – кількість виконавців у s -й бригаді (ланці).

У загальному випадку шуканий режим визначається в межах

$$d_{ij} \leq \tau_{ij} \leq D_{ij}, \quad (2)$$

де d_{ij} – прискорений режим виконання роботи при двох-трьох змінах; D_{ij} – нормальна тривалість виконання роботи (i, j) .

Якщо $(i, j) \in A$ виконується в заданому режимі, то $\tau_{ij} = d_{ij} = D_{ij}$. При цьому інтенсивність роботи (i, j) визначається кількістю ресурсу, який витрачається за одиницю часу. Кожна робота може виконуватися з інтенсивністю

$$U = P_{ij} / \tau_{ij}, \quad (3)$$

де P_{ij} – обсяг роботи у фізичному вимірюванні, m^3, m^2, m погонної довжини;

$$\tau_{ij} = P_{ij} / n_{ij} B_s, \quad (4)$$

де B_s – виробіток виконавця в одиницю часу в одинцях обсягу; оскільки P_{ij} / B_s – трудомісткість роботи $(i, j) \rightarrow Q_{ij}$, отримаємо (1).

Визначимо з (3) та, прирівнявши її до (4), одержимо

$$U_{ij} = n_{ij} B_s. \quad (5)$$

Величина $B = \text{const}$, а тому $U_{ij} = n_{ij}$. Таким чином,

$$d_{ij} = \tau_{ij}^{\min} = Q_{ij} / n_{ij}^{\max},$$

$$D_{ij} = \tau_{ij}^{\max} = Q_{ij} / n_{ij}^{\min}. \quad (6)$$

Визначаючи d_{ij} , виходимо з того, що

$$U_{ij} = (n_{ij} B_s)_{\max}, \quad (7)$$

а D_{ij} у (1) відповідає мінімальна інтенсивність

$$U_{ij} = (n_{ij} B_s)_{\min}, \quad (8)$$

отже,

$$U_{ij}^{\min} \leq U_{ij} \leq U_{ij}^{\max}. \quad (9)$$

Вибір режиму виконання роботи $(i, j) \in A$ у процесі прийняття рішення передбачає виділення такої кількості ресурсів із заданого обмеженого їх обсягу, за якою отримаємо оптимальну тривалість за (1). У цьому випадку задача формулюється так: визначити параметри моделі, за яких загальний строк реалізації буде мінімальним, а наявні трудові ресурси будуть повністю використовуватися при їх обмеженні.

Введення в модель $G(U, A)$ умов, які визначають варіанти режимів виконання кожної роботи (i, j) показує, що така модель має всі допустимі за даних умов варіанти виконання без подання кожного з них в явному вигляді.

Оптимальний за заданим критерієм розв'язок визначається в стислі строки економіко-математичними методами, які реалізуються за допомогою обчислювальної техніки. Як зазначалося, загальна постановка задачі передбачає реалізацію програми (проекту) за мінімальний час при обмежених трудових ресурсах.

Сформулюємо математичну модель задачі. Дана модель (D_{ij}, T^D) , яка відповідає виконанню всіх робіт $(i, j) \in A$ з мінімальною інтенсивністю. За кожною роботою $(i, j) \in A$ відомі d_{ij} – та відповідні їм за (1) n_{ij}^D , n_{ij}^d , Δn_{ij} . Відоме в загальному вигляді ресурсне обмеження

$$U_{об} = A + B\tau \quad (10)$$

Знайти такий розв'язок $(x_{r_{ij}}, \tau_n)$, який мінімізує цільову функцію

$$L(x) = \left[\max \left(\sum_{(i,j) \in T_{кр}} x_{r_{ij}} \tau_{ij} \right) \right] \rightarrow \min \quad (11)$$

при наборі таких $x_{r_{ij}}$, щоб

$$\sum_{r=1}^m x_{r_{ij}} = 1, \quad (12)$$

де r – кількість комбінацій інтенсивності виконання $(i, j) \in A$, $r = 1, 2, \dots, m$.

Обмеження таке: якщо $x_{r_{ij}} = 1$, це значить, що вибрано r -ту комбінацію інтенсивності виконання роботи (i, j) ; якщо $x_{r_{ij}} = 0$, то для виконання цієї роботи вибрано іншу комбінацію:

- обмеження ресурсів на виконання роботи

$$\sum_{r=1}^m x_{r_{ij}} \tau_{ij} n_{ij} \leq Q_{ij}; \quad (13)$$

- обмеження щодо використання сумарних ресурсів за множиною робіт у k -му перерізі потоку в часі

$$\sum_{(i,j) \in A_{nk}} x_{r_{ij}} n_{ij} \leq U_{об}, \quad (14)$$

де n_{ij}^D , n_{ij}^d – чисельність виконавців, які забезпечують задані режими виконання; Δn_{ij} – крок зміни інтенсивності використання ресурсів; для

кожної роботи може бути сталим або змінним, в окремому випадку $\Delta n_{ij} = 1$; τ_{ij} – тривалість реалізації роботи (i, j) , узята з діапазону $d_{ij} \leq x_{r_{ij}} \tau_{ij} \leq D_{ij}$ залежно від

$$x_{r_{ij}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}. \quad (15)$$

Таким чином, задача оптимізації зводиться до мінімізації функції (11) при обмеженнях (12)–(15). Оскільки на $x_{r_{ij}}$ накладається вимога формальної цілочисельності (адже Δn_{ij} може змінюватися з різним кроком), розв'язання найбільш прийнятними методами виявляється неефективним через повільну збіжність до оптимального розв'язку й значних розмірів задач.

Щоб розв'язати поставлену задачу, зручно видозмінювати критерій якості. Розглянемо ліву частину умови (14)

$$\sum_{(i,j) \in A_{nk}} x_{r_{ij}} n_{ij}.$$

Ця величина фізично подає ресурсно-часову характеристику та показує, як у прийнятих розв'язках використовуються сумарні трудові ресурси.

Величина $U_{об} = U(\tau)$ у загальному вигляді – функція обмеження, яка визначає закономірність зміни інтенсивності споживання трудових ресурсів у кожному одиницю часу. Якщо роботу $(i, j) \in A$ виконують з такою сумарною інтенсивністю, яка описана законом її вимірювання, то відношення

$$\eta = \frac{\sum x_{r_{ij}} n_{ij} T}{U_{об} T_{кр}} \quad (16)$$

характеризує ступінь використання ресурсів в часі. Якщо $\eta = 1$, то наявні ресурси використовуються відповідно до заданого закону зміни їх інтенсивності.

Однак на практиці важко дістати розв'язок, щоб $\eta = 1$, тому доцільно визначити такі $x_{r_{ij}}$ та відповідні їм τ_{ij} , за яких $\eta \rightarrow \max$, а потім замінити функцію

$$L(x) = (1 - \eta) \rightarrow \min \quad (17)$$

яка набуває мінімального значення та задовольняє умови:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{r=1}^m x_{r_{ij}} &= 1; \\ \sum x_{r_{ij}} n_{ij} \tau_{ij} &\leq Q_{ij}; \\ d_{ij} &\leq x_{r_{ij}} \tau_{ij} \leq D_{ij}; \\ U_{об} &= U(\tau) - \text{const.} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Зведена ресурсно-часова матриця

№ з/п	(i, j)	Q	τ_{ij} / n_{ij}				
			$n_{ij(1)}^d$	$n_{ij(2)}$	...	$n_{ij(r-1)}$	$n_{ij(r)}^D$
1	1-2	Q_{12}	$\tau_{12(1)}$	$\tau_{12(2)}$	...	$\tau_{12(r-1)}$	$\tau_{12(r)}$
2	1-4	Q_{14}	$\tau_{14(1)}$	$\tau_{14(2)}$	...	$\tau_{14(r-1)}$	$\tau_{14(r)}$
...
p-1	m-1	Q_{m-1}	$\tau_{m1(1)}$	$\tau_{m1(2)}$	...	$\tau_{m1(r-1)}$	$\tau_{m1(r)}$
p	M	Q_m	$\tau_{m(1)}$	$\tau_{m(2)}$	...	$\tau_{m(r-1)}$	$\tau_{m(r)}$

Очевидно, що задача зводиться до мінімізації недовикористання сумарної інтенсивності споживання ресурсів для максимального скорочення тривалості виконання програми (проєкту) при обмежених ресурсах. А в постановці (17) та (18) задача має досить ефективний метод розв'язування, який називається методом перерізу потоку робіт. У цьому методі будь-який переріз потоку характеризується параметрами

$$\tau_n = \tau(i, j), n_n = n(i, j), \quad (19)$$

де τ_n – призначувана величина, яка вибирається за τ_{ij}^{pn} або за τ_{ij}^{p3} , а $n_n = n(i, j)$ – визначувана величина в кожному перерізі потоку робіт (тут і далі «рп» і «рз» означають відповідно ранній початок і раннє закінчення).

Численні роботи в перерізі A_{nk} становлять ті, які задовольняють умову

$$\tau_{ij}^{pn} \leq \tau_{nk} \leq \tau_{ij}^{p3}, (i, j) \in A_{nk}. \quad (20)$$

Для визначення A_{nk} спочатку треба визначити множину робіт A_{1n} , що задовольняють ліву частину нерівності (20), потім з множини A_{1n} виділити роботи чисельності A_{2n} які мають

$$\tau_{nk} \leq \tau_{ij}^{p3}, (i, j) \in A_{1n}, A_{2n} \subset A_{1n}, \quad (21)$$

тоді множина робіт в перерізі потоку

$$A_{nk} = A_{1n} - A_{2n}. \quad (22)$$

Сумарна інтенсивність використання ресурсів у перерізі потоку робіт

$$N_{nk} = \sum_{i, j \in A_{nk}} n_{ij} x_{rij}, (i, j) \in A_{nk}. \quad (23)$$

Якість використання ресурсів у перерізі

$$\tau_{ij}^{p3} \leq 0, \quad (24)$$

де N_{nk} – завантаження ресурсу в k -му перерізі, визначається за кількістю A_{nk} (22). Використовуючи метод перерізу потоку робіт, знайдемо оптимальний варіант розв'язування за вибраним критерієм.

Вихідні дані задаються як коди сітьової моделі робіт і зведеної ресурсно-часової матриці значень $\|\tau_{ij} / n_{ij}\|$ (таблиця). У зведеній матриці значення τ_{ij} та n_{ij} мають таку залежність:

$$\frac{d_{ij} = \tau_{ij(1)} < \tau_{ij(2)} < \dots < \tau_{ij} = D_{ij}}{n_{ij}^d = n_{ij(1)} > n_{ij(2)} > \dots > n_{ij(r)} = n_{ij}^D}. \quad (25)$$

Вихідний (початковий) варіант може бути заданий за будь-яким стовпцем матриці $\|\tau_{ij} / n_{ij}\|$, тобто вихідний розв'язок за стовпцем «к» означає, що до нього включені всі ті τ_{ij} / n_{ij} , які записані в цьому стовпці зведеної матриці. У тих рядках матриці, де на перетині зі стовпцем «к» немає τ_{ij} / n_{ij} , у вихідний розв'язок включається найближче ліворуч значення τ_{ij} / n_{ij} , тобто крайнє ліве в рядку.

Оптимальне значення змінних, заданих в кожному рядку матриці та за моделлю в цілому, вибирають на кожному кроці обчислювальної процедури з перевіркою стану всієї моделі. Вибір алгоритму дій на кожному наступному кроці залежить від характеру змін всієї моделі після вибору на даному кроці.

Запропонований метод має ряд переваг. У системі сітьового планування та управління (СПУ) між ресурсами та часом відсутня функціональна залежність, яку можна було б записати як аналітичний вираз. Це є однією з причин того, що відомі точні математичні методи не застосовуються для розв'язування складних практичних задач з ресурсно-часової оптимізації моделей.

Використовуваний метод зсування робіт із суб'єктивних міркувань на більш пізні строки без урахування резервів часу – це вихід зі становища, але не оптимізація моделі.

Наявні алгоритми ґрунтуються на принципі пріоритетного упорядкування фронту робіт за загальним резервом часу та різницею між часом чергового фронту робіт і часом початку робіт, де оптимізація виконується зсуванням робіт без зміни їх інтенсивності. Як показав досвід, здобуті результати при цьому дуже наближені.

Новий метод пошуку оптимального розв'язку більш досконалий порівняно з відомими методами, якщо він має перевагу хоч би за одним із таких параметрів при рівності за іншими:

- дає точний результат або менше відхилення від нього;
- забезпечує більш якісну оптимізацію за певними параметрами;
- враховує значну кількість можливих вихідних умов і обмежень, тобто є більш загальним;
- практично прийнятний за можливістю та зручністю програмування на ПЕОМ, витратою оперативної пам'яті та затратами машинного часу на розв'язування складних задач.

Висновок

Розв'язування задач у діалоговому режимі дає більш якісну ресурсно-часову оптимізацію моделей, але воно значно залежить від суб'єктивних даних виконавця та придатне для процесів, які виконуються поступово, оскільки потребує значних затрат часу.

Оцінювати обчислювальний метод перерізу потоку робіт за точністю немає сенсу, оскільки абсолютно оптимальний варіант, з яким треба було б порівняти його результати, можна виб-

рати тільки перебиранням всіх варіантів. Це неможливо навіть при використанні ПЕОМ.

Використання матричного методу зображення вихідної інформації відображує реальний процес і дисциплінує організацію розрахунків, а форма зображення вихідної інформації значно впливає на зміст і ефективність методу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Антанавичус К. А. Моделирование и организация в управлении строительством. – М: Стройиздат, 1979. – 197 с.
2. Афанасьев М. Ю. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения: Учеб. пособие / М. Ю. Афанасьев, Б. П. Суворов. – М.: ИНФРА, 2003. – 444 с.
3. Исследование операций: в 2-х томах. / Перев. с англ.; Под. ред. Дж. Маудера, С. Э. Амаграби. – М.: Мир 1981. Т. 1. Методологические основы и математические методы. – 712 с.; Т. 2. Модели и применение. – 677 с.

Надійшла до редколегії 21.09.2005.

Н. Н. РУДЕНКО, В. В. ПУНАГИН, Н. И. БЕЛОШИЦКАЯ (ВНУ им. В. Даля),
М. Х. СИДДИКОВ (Хорезмский педагогический институт)

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В АКТИВИРОВАННОЙ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЕ

Викладені основні положення теоретичного обґрунтування фізико-хімічних взаємодій в активованій цементній системі. Показано, що плин процесів гідратації і структуроутворення активованої цементної системи істотно відрізняється від процесів, що відбуваються в цементному тісті традиційного приготування. Виконані дослідження у визначеній мірі здатні пояснити механізми іонних взаємодій складного процесу структуроутворення активованих цементних систем.

Изложены основные положения теоретического обоснования физико-химических взаимодействий в активированной цементной системе. Показано, что течение процессов гидратации и структурообразования активированной цементной системы существенно отличается от процессов, происходящих в цементном тесте традиционного приготовления. Выполненные исследования в определенной мере способны пояснить механизмы ионных взаимодействий сложного процесса структурообразования активированных цементных систем.

The article enlists the main fundamentals of theoretical substantiation of physical and chemical interactions in the activated cement system. It has been shown that the course of the hydration and structure-forming processes of an activated cement system differs greatly from the processes, occurring in cement dough traditional design. The studies having been carried out are to a certain degree capable of explaining the mechanisms of ion interactions in the complex process of the structure-forming in the activated cement systems.

Проведенними дослідженнями доказана висока ефективність фізико-хімічної активації цементних систем бетонів високої прочності, а також бетонів з високими експлуатаційними властивостями. Фізико-хімічна активація цементної системи представляє собою високоінтенсивне вплив на її компоненти – цемент, мінеральний мікронаповнювач і хімічний оптимізатор структуроутворення. Експериментально встановлено, що перебіг процесів гідратації і структуроутворення активованої цементної системи суттєво відрізняється від процесів, що відбуваються в цементному тесті традиційного приготування. Несомненно, цей факт впливає на формування фізико-механічних характеристик бетонів на основі активованого вяжучого. С метою створення бетонів з заданими експлуатаційними властивостями проведені дослідження особливостей фізико-хімічних взаємодій в активованій цементній системі. При цьому враховується відоме положення про те, що розчинення є найважливішим фізико-хімічним процесом структуроутворення цементного каменю і бетону.

Обычно под термином «процесс растворения» понимается процесс, при определенных благоприятных обстоятельствах завершающийся исчезновением твердой фазы. Следует отли-

чать процессы растворения от процессов выщелачивания, имеющих место при гидратации цементных систем. Различие между растворением и выщелачиванием особенно четко проявляется при сравнении кинетических закономерностей обоих процессов. При растворении цементных систем имеет место физико-химический процесс, которому присущи особенности, характеризующиеся преобладанием диссоциации растворителя по сравнению с диссоциацией растворяющейся цементной системы. Управление такой системой возможно при одновременном учете химических свойств клинкерных минералов и физического процесса диссоциации воды под действием накопленной энергии в цементной системе.

В процессе физико-химических взаимодействий жидкой фазы с частицами активируемой цементной системы в первую очередь обогащаются ионами клинкерных минералов слои жидкой фазы, примыкающие к поверхности цементной частицы. С возрастанием концентрации и приближением ее к концентрации насыщения эти слои теряют способность воспринимать мигрирующие в жидкую фазу ионы, и поэтому дальнейшее растворение связано с отводом вещества из областей вблизи поверхностей растворения в основную массу жидкой фазы.

У поверхности реакции формируется очень тонкий слой насыщенного раствора, а скорость

реакции определяется диффузией вещества из этого слоя в основную массу растворителя. Согласно диффузионной теории гетерогенного взаимодействия Нернста, на поверхности раздела фаз весьма быстро достигается равновесие, а концентрация становится равной концентрации насыщения C_n . При слабой интенсивности перемешивания вблизи поверхности цементной частицы возникает неподвижный слой жидкости толщиной δ , в пределах которого концентрация изменяется от C_n до C – концентрации в основной массе раствора.

Толщина неподвижного слоя жидкой фазы цементного теста δ в зависимости от скорости перемешивания равна 5...100 мкм. При высокоинтенсивной физико-химической активации цементной системы предположение о неподвижности диффузионного слоя несостоятельно. Экспериментальные данные, приведенные в работе [1], свидетельствуют о движении жидкости на расстоянии порядка 0,1 мкм от твердой поверхности в процессе скоростного перемешивания.

При определении параметров активации различными авторами рассматривается коэффициент скорости реакции как функция скорости перемешивания. Однако установлено [2], что скорость перемешивания не эквивалентна понятию скорости обтекания. При перемешивании мешалкой жидкости, содержащей растворяющиеся твердые частицы, скорость вращения мешалки значительно отличается от скорости движения жидкости относительно твердых частиц. Скорость движения жидкости может на один-два порядка отличаться от скорости вращения мешалки, а может вообще не зависеть от числа ее оборотов.

Априори очевидно, что при любом значении скорости турбулентного потока у поверхности цементной частицы будет существовать ламинарный слой, препятствующий интенсификации процессов гидратации частицы. Следовательно, скорость взаимодействия цементной частицы с жидкой фазой лимитируется толщиной ламинарного слоя, зависящей от скорости турбулентного потока.

Для объяснения кинетики гидратации цементной системы использовано условие равновесия [2]

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{C_n}{C'_n}, \quad (1)$$

где S – свободная поверхность гидратации; $\frac{S_0 - S}{S_0}$ – степень экранирования; C_n – концен-

трация новообразований экранирующего вещества в жидкой фазе; C'_n – концентрация, при которой поверхность цементной частицы полностью закрыта для гидратации.

Левая часть уравнения (1) справедлива для статических условий гидратации; в динамических условиях физико-химической активации цементной системы экранирование практически не наблюдается.

Общее уравнение кинетики гидратации активированной цементной системы имеет вид:

$$C_n = C'_n \left[1 - e^{-\tau \frac{pS_0CK}{VC'_n}} \right], \quad (2)$$

где p – стехиометрический коэффициент пересчета от жидкой фазы к продуктам реакции гидратации; V – объем жидкой фазы.

В процессе гидратации цементной частицы происходит деформирование кристаллической решетки, особенно сильно наблюдающееся в поверхностном слое. Связи, удерживающие ионы, разрываются, и последние переходят в раствор.

Как известно, взаимодействие между частицами твердой фазы и жидкой фазой в цементной системе имеет электрическую природу и проявляется в виде ионного процесса. Внутри твердой частицы ионы с различными знаками уравновешены. На поверхности частицы вследствие нарушения кристаллической решетки в процессе активации такое равновесие не достигается, вследствие чего частица ведет себя как электрически заряженное тело.

Поверхность цементной частицы по своей природе имеет отрицательный заряд, под действием электрического поля группируя вокруг себя положительно заряженные ионы, находящиеся в жидкой фазе. С увеличением расстояния от частицы концентрация катионов уменьшается с некоторым увеличением количества анионов. Цементная частица после затворения цемента водой вместе с окружающей ее связанной водой образует мицеллу. Вблизи поверхности, где силы притяжения весьма велики, молекулы воды прочно связаны с поверхностью частицы, образуя ориентированный слой, не участвующий в движении жидкости. Этот слой адсорбированной воды представляет собой граничную фазу и рассматривается как единое целое с цементной частицей. Возникновение двойного электрического слоя на границе раздела жидкость затворения – негидратированная цементная частица происходит в присутствии ионных пар, образующихся вследствие диссо-

циации поверхностных молекул клинкерных мономинералов. Другими словами, механизм образования двойного электрического слоя обуславливается в основном существованием некомпенсированных систем на границе между двумя фазами: адсорбцией на поверхности цементной частицы диполей воды при одновременном переходе противоионов в жидкость затворения.

В активируемой цементной системе необходимо совместно рассматривать действие электрического поля и адсорбционных процессов, зависящих от электрического потенциала, поскольку сам процесс оказывает не только механическое воздействие, но и электрическую активацию атомов и молекул в образующихся гидратных комплексах или на их поверхностях. При этом в отдельных точках цементной системы возникает значительная по величине электродвижущая сила, вызывающая образование переменного электрического поля.

Как показали опыты, физико-химическая активация приводит к существенному повышению энергетического состояния частиц, выражающемуся в активизации ионных взаимодействий. При анализе процессов, происходящих при физико-химической активации цементных систем, учитывалась необходимость обеспечения устойчивости за счет сил межчастичного взаимодействия. Стабильность системы предполагает равенство химических потенциалов воды внутри и вне агрегатов.

В процессе активации электродвижущая сила действует преимущественно через прослойки воды, так как их проводимость выше проводимости агрегатов. При этом проводимость воды зависит от интенсивности процесса гидратации вяжущего.

Установленное в ходе экспериментальных исследований изменение направленности реакций гидратации цементных систем в зависимости от условий привело к необходимости детального исследования ионных взаимодействий. Согласно теории Дебая-Хюккеля, полнота взаимодействия в гидратирующейся цементной системе зависит от степени ее активности, которая определяется полнотой ионного взаимодействия.

В активированной цементной системе ввиду специфичности условий образуются комплексные макроионы, к которым, например, относятся $Al(OH)_4^-$, $[Ca_2Al(OH)_6]^+$ [3].

Между зарядами, находящимися на отдельном макроионе, осуществляются сильные электростатические взаимодействия, не зависящие от концентрации этих макроионов. Кроме макроионов, в жидкой фазе содержатся малые ионы, которых должно быть достаточно для нейтрализации заряда на макроионах. Электростатические силы оказывают значительное влияние на химическое соединение макроионов с другими ионами. Отсюда вытекает необходимость подробного рассмотрения влияния электростатических сил.

Наиболее прямой подход к этой проблеме связан с вычислением потенциала электростатического поля, образованного зарядами макроионов, и расчетом электростатической составляющей свободной энергии, эквивалентной работе переноса зарядов на макроион. Неподвижные заряды рассматриваются как точечные с фиксированным положением. В этом случае места их расположения характеризуются бесконечным потенциалом, так как потенциал вблизи неподвижного заряда определяется как q/Dr' (r' – расстояние от заряда). Тогда эти места математически рассматриваются как особые точки.

Приведенные положения позволяют вывести дифференциальные уравнения для потенциала, соответствующие любому распределению физических границ и зарядов. Следует разделить жидкую фазу на несколько областей, в каждой из которых применимо уравнение Лапласа или уравнение Пуассона. Тогда решения этих уравнений зависят от условий, которым подчиняются соответствующие параметры на границах областей, где применяются данные уравнения.

Очевидно, что выполненные исследования в определенной мере способны пояснить механизмы ионных взаимодействий сложного процесса структурообразования активированных цементных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – 904 с.
2. Семенов И. Н. Энергия и химический процесс / И. Н. Семенов, Р. В. Богданов. – Л.: Химия, 1973. – 112 с.
3. Руденко Н. Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 260 с.

Поступила в редколлегию 23.10.2005.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОБЕТОНА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛЕБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Наведено наукове обґрунтування технології екобетону у виробництві сталобетонних виробів. Дана класифікація екодобавок та наведена технологія екобетону для сталобетонних виробів.

Приведено елементи технології екобетона в виробництві сталобетонних изделий. Дана класифікація екодобавок и приведена технологія екобетона для сталобетонных изделий.

The components of ecological concrete manufacture technologies in the production of steel-concrete products have been enlisted. Classification of ecological additives has been provided and the technology of ecological concrete has been described.

Продолжительное время бетон считается древнейшим строительным материалом [1–3]. Из него были построены галереи египетского лабиринта, часть Великой китайской стены, ряд сооружений на территории Индии, Древнего Рима и в других местах. Известно [1], что только после получения и организации промышленного выпуска портландцемента началось массовое строительство монолитных конструкций и сооружений. В то время применялись жесткие и малоподвижные бетонные смеси, как правило, уплотняющиеся трамбованием.

С развитием производства конструкций, армированных сетками, каркасами, связанными из стальных стержней, начинают использовать более подвижные и даже литые бетонные смеси. Это все делалось для надлежащего распределения и уплотнения материала в бетонируемой конструкции. При этом применение подобных смесей затрудняло получение бетона высокой прочности, требовало повышенного расхода цемента. Было предложено вибрирование, которое позволило обеспечить достаточное уплотнение малоподвижных и жестких бетонных смесей. При этом был снижен расход основного вяжущего в бетоне, достигнуто повышение его прочности и долговечности. Одновременно был предложен способ предварительного напряжения стальной арматуры в железобетоне [9], который способствовал снижению расхода арматуры (т. е. снижению материалоемкости) в железобетонных конструкциях, повышению их долговечности и трещиностойкости.

В послевоенный период начало интенсивно развиваться производство сборного сталобетона (термин вводится и научно обосновывается нами впервые). В связи с этим наступает эра массовой индустриализации строительных работ, ремонта восстановления инженерных сооружений.

К обоснованию термина сталобетон. Для армирования бетона в сталобетонных конструкциях, в основном, используют стальную арматуру из углеродистых и низколегированных сталей.

Стальную арматуру классифицируют: по основной технологии (горячекатаная, термически упрочненная, холоднокатаная); по условиям применения ее в инженерных сооружениях (напрягаемую и ненапрягаемую); по профилю (на гладкую и периодического профиля); по химическому составу; по свойствам – мягкие и твердые; по условиям поставки – прутковые и бухтовые. Таким образом, использование термина «железобетон» нужно считать устаревшим и научно целесообразно и обоснованно введение термина «сталобетон», как основного конструкционного материала для строительства, ремонта и восстановления инженерных сооружений.

Технология экобетона. Известно [1], что бетонами называют искусственные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества с водой (реже без воды), мелкого и крупного заполнителей, взятых в определенных пропорциях. Экобетон все тот же научно обоснованный подход плюс химические и нехимические добавки с утилизацией техногенных отходов разных отраслей промышленности, которые обеспечивают экобезопасность сооружения с учетом важнейших физико-химических свойств воды, без которой экоконгломерат не формируется.

В строительстве используют бетоны, приготовленные на цементах или органических вяжущих (битумах, полимерах, мономерах и др.). При этом цементные бетоны затворяют водой, которая определяет реакции гидратации, зарождения и роста кристаллов в ней, гидролиза, формирования коагуляционно-кристаллизационных структур [4–6].

Принято было считать, что между цементом и заполнителем не происходит химического взаимодействия, исключая силикатные бетоны. Поэтому их называли инертными компонентами бетонной смеси. В эcobетоне заполнители и наполнители (горные породы, шлаки, техногенные отходы и др.) играют важную физико-химическую роль.

Известно, что для регулирования свойств бетона и бетонной смеси в их состав вводят добавки различного химического состава, они могут быть растворимыми или нерастворимыми в воде. Замечено, что некоторые добавки ускоряют, другие замедляют схватывание бетонной смеси; придают пластичность, удобоукладываемость; ускоряют твердение бетона, повышают его прочность и морозостойкость в нужном направлении [7–10].

Рассмотрим физико-химическое действие добавок в эcobетоне. Начнем с уникального растворителя – воды. Известно, что для приготовления бетонной смеси используют воду, удовлетворяющую действующим нормативным требованиям [1]. Для приготовления бетонной смеси можно применять морскую и другие соленые воды, удовлетворяющие требованиям: вода не должна содержать сульфатов более 2 700 мг/л (в пересчете на SO_4^{2-}) и всех солей более 5 000 мг/л [1].

Для регулирования свойств эcobетона и эcobетонной смеси, экономии вяжущего используют различные добавки [11–14] в бетон. Добавки в эcobетон условно подразделяют на две группы. К первой относятся химические вещества в количестве 0,1...3 % массы цемента с целью изменения в нужном направлении свойств бетонной смеси и эcobетона. Ко второй относят тонкомолотые компоненты, добавляемые в эcobетонную смесь в количестве 5...25 % с целью экономии цемента и для получения плотного бетона при малых расходах цемента. К тонкомолотым эcobетонным добавкам относят золы, шлаки, пески, отходы камнедробления и другие, придающие бетону специальные свойства: плотность, жаростойкость, изменяющие электропроводность, окрашивание и др.

Однако наибольшее применение находят химические эcobетонные добавки. Их классифицируют по основному эффекту действия на четыре группы:

1. Эcobетонные добавки: пластифицирующие, стабилизирующие (предупреждающие расслоение смеси, водоудерживающие, то есть уменьшающие водоотделение эcobетонной смеси).

2. Химические добавки, регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение

эcobетона: ускоряющие и замедляющие схватывание, ускоряющие процесс твердения, противоморозные.

3. Эcobетонные добавки, которые формируют плотность и пористость эcobетонной смеси и эcobетона: воздухововлекающие, газообразующие, пенообразующие, уплотняющие (воздухоудаляющие и кольматирующие поры бетона), расширяющие эcobетонные добавки.

4. Эcobетонные добавки, придающие эcobетону специальные свойства бетона: антикоррозийные (повышающие стойкость в агрессивных средах, гидрофобизирующие) уменьшающие смачивание эcobетона, ингибиторы, повышающие коррозионные свойства к стальной арматуре; (повышающие бактерицидные и инсектицидные свойства красящие).

Некоторые эcobетонные добавки обладают полифункциональным действием (пластифицирующе-воздухововлекающие; газообразующие, пластифицирующие и др.). Иногда для получения того или иного эффекта полифункционального действия применяют комплексные эcobетонные добавки, которые одновременно, например, ускоряют твердение бетонной смеси, пластифицируют и ингибируют ее. Здесь используют катионные, анионные и катионно-анионные химические вещества сложного многокомпонентного состава [5; 6]. В целом большое разнообразие эcobетонных добавок позволяет технологически формировать не только технологические, но и химические свойства бетонной смеси, снизить расход цемента, энергии, трудозатрат при производстве сталебетонных конструкций, а также улучшить физико-механические показатели бетонного конгломерата.

В качестве пластифицирующих эcobетонных добавок широко используют гидрофильные типы; другой разновидностью являются гидрофобизирующие добавки, вовлекающие в бетонную эcobетонную смесь пузырьки воздуха, что в итоге улучшает подвижность бетонной смеси. Механизм действия этих эcobетонных добавок сводится к адсорбции их на поверхности раздела воздух-вода, следствием является понижение поверхностного натяжения воды. В итоге наблюдается стабилизация мельчайших пузырьков воздуха в цементно-песчаном тесте.

К эcobетонным добавкам первой основной группы относят сульфидно-дрожжевую бражку (СДБ). По химическому составу она представляет кальциевые соли лигносульфоновых кислот. Особенностью этой эcobетонной добавки является наличие в ней биоты различного состава представленного в дрожжах [10; 12; 13].

К химическим экодобавкам второй главной группы относят: абиенат натрия; омыленный древесный пек; мылонафт. Натриевую соль абиетиновой кислоты получают омылением канифоли в виде порошка или жидкости. Омыленный древесный пек – это паста, получаемая нейтрализацией едким натром жирных кислот древесного пека; мылонафт представляет собой натриевые соли не растворимых в воде органических кислот, получаемых из отходов при переработке нефти; асидол – нефтяные кислоты, являются отходами при переработки нефти и др. [10].

Таким образом, рассмотренная в этой статье технология экобетона и сталебетонных изделий позволяет инженеру-технологу рационально классифицировать экохимдобавки, что в итоге обеспечивает снижение энерго-материалоемкости при производстве и ремонте бетонных и сталебетонных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю. М. Технология бетона. – М.: Стройиздат, 1978. – 455 с.
2. Баженов Ю. М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
3. Цукович С. М. Заполнители для бетона. – Минск: Высш. шк., 1983. – 214 с.
4. Комар А. Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Высш. шк., 1983. – 560 с.
5. Савин Л. С. Галогенсодержащие фритты и поверхностно-активные вещества в технологии эмалирования стали. Автореферат на соискание уч. степени докт. техн. наук. – К. 1987.
6. Савин Л. С. Поверхностно-активные вещества в технологии эмалирования стали. – К.: Виц. шк., 1984.
7. Савин Л. С. Основные принципы взаимодействия в системе «цемент-щебень-песок-добавки-вода» / Л. С. Савин, Ю. Л. Савин, А. П. Приходько // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. – Д. – 2002. – Вып. 21.
8. Большаков В. И. Элементы синергетики в бетоноведении / В. И. Большаков, Ю. Л. Заяц, Л. С. Савин, Ю. Л. Савин // Строительство: Сб. науч. тр. ДИИТа. – Д. – 1999. – Вып. 6. – С. 12–18.
9. Николаев С. В. Сборный железобетон. Выбор технологических решений. – М.: Стройиздат, 1978. – 234 с.
10. Ратинов В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Г. И. Розенберг – М.: Стройиздат, 1973. – 207 с.
11. Рыбьев И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. – М.: Высш. шк., 1978. – 309 с.
12. Шестоперов С. В. Технология бетона. – М.: Высш. шк., 1977. – 432 с.
13. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. – М.: Стройиздат, 1968.
14. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.

Поступила в редколлегию 23.10.2005.

К. І. СОЛДАТОВ, А. Г. КРЮК,
В. І. БОРЩОВ, В. І. МАДАТОВ, **Д. К. ЗАПОРОЖЕЦЬ** (ДІІТ)

ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛЕВОГО АРОЧНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ РІКУ СТАРИЙ ДНІПРО У ЗАПОРІЖЖІ

Наведено методику та результати статичних і динамічних випробувань металевого арочного моста через ріку Старий Дніпро у Запоріжжі, що були виконані ГНДЛ динаміки мостів ДІІТу в 1975 р. Проведено аналіз результатів випробувань, з метою використання результатів в теоретичних дослідженнях.

Приведена методика и результаты статических и динамических испытаний металлического арочного моста через реку Старый Днепр в Запорожье, выполненные ОНДЛ динамики мостов ДИИТа в 1975 г. Проведен анализ результатов испытаний, с целью использования результатов в теоретических исследованиях.

The article describes the method and elists the results of static and dynamic tests of the metal arch bridge over the river Dnepr in the city of Zaporozhye that were executed by the Laboratory of Bridge Dynamics of Dnepropetrovsk Institute of Railway Transport Engineering in 1975. An analysis of the test results has been made, with the aim of use in theoretical research.

Міський міст через ріку Старий Дніпро у Запоріжжі з'єднує правобережну частину міста з центром, розташованим на лівому березі Дніпра. Сприятливі геологічні та топографічні умови переходу визначили вибір арочної системи. Балка жорсткості виконана нерозрізною по всій довжині (естакад підходів та арки). Загальна довжина нерозрізної балки 320 м (12,8×25 м). Балка жорсткості – це сталезалізобетонний балочний ростверк, що має у поперечному перерізі чотири балки, які спираються на два (в поперечному перерізі) стояки підходів та арок. Сама прогонова будо-

ва моста комбінованої системи з їздою верхом складається з металеві балки, об'єднаної з залізобетонною плитою проїжджої частини за допомогою упорів (болти).

У русловому прогоні балка підпружена гнучкою металеві аркою прогоном 196 м. Профіль арки прийнято по колу радіусом 190 м. Відстань між осями арок 7,5 м. Арки складені прямолінійними відрітками розмірами 12 910 і 13 810 мм. Стик елементів суміщений з кріпленням надарочних стояків. Переріз арок Н-образний. Схема моста наведена на рис. 1.

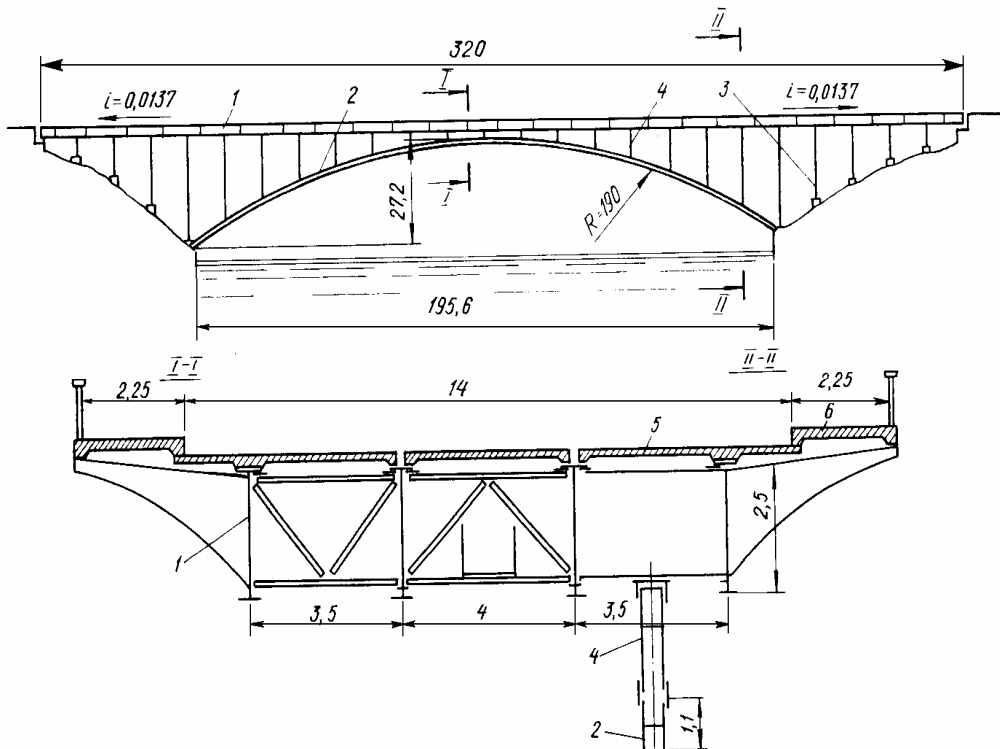


Рис. 1. Схема мостового переходу та переріз балки жорсткості

Опорні частини балки жорсткості, розміщені на стояках, рухомі коткового типу. Опорні частини п'ят арок балансного типу з шарніром для можливості регулювання їх положення.

Матеріал головних балок – сталь 10Г2С1Д, арок – сталь 16Г2АФ, в'язів по балках і арках – сталь М16С. Проїжджа частина моста з збірного залізобетону (бетон марки 400, клас В35). Плита попередньо стиснута вздовж моста зусиллям 24000 кН. Більш детальна інформація по об'єкту міститься у [1].

Випробування моста було проведено галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки мостів ДШТУ згідно з чинними нормами вводу в експлуатацію великих мостів і мостів індивідуального проектування по програмі, розробленій ДШТом, узгодженій автором проекту та затвердженій замовником.

Програмою статичних та динамічних випробувань передбачалось визначити:

- якість змонтованих конструкцій;
- дійсну вантажопідйомність, деформативність і стійкість елементів моста та моста в цілому;

– динамічні характеристики моста (періоди, частоти і декременти коливань, динамічні коефіцієнти).

Статичним випробуванням піддавались: арочний прогін і два прогони правобережної естакади. Як випробувальне навантаження використовувались навантажені самоскиди КрАЗ, вага яких становила 250...260 кН. Кількість автомобілів і розміщення їх в колоні для завантаження моста, визначались розрахунком, але було близьке до нормативного Н-30 на одну арку, що досягалося при завантаженні трьох смуг арочного прогону моста з встановленням автомобілів в смузі через 12,8 м. Розміщення автомобілів по довжині моста з кроком, який дорівнює довжині панелі (12,8 м), забезпечувало симетричне завантаження стояків і опорних вузлів арки.

Оскільки при монтажі арки підвішувались до балочного ростверку, то першим етапом випробувань було визначення деформацій (напруг в декількох перерізах по довжині арки та стояках, прогонів у середині та чверті арки, прогонів балочного ростверку відносно арки). Схема розміщення приборів при цьому випробуванні наведена на рис. 2.

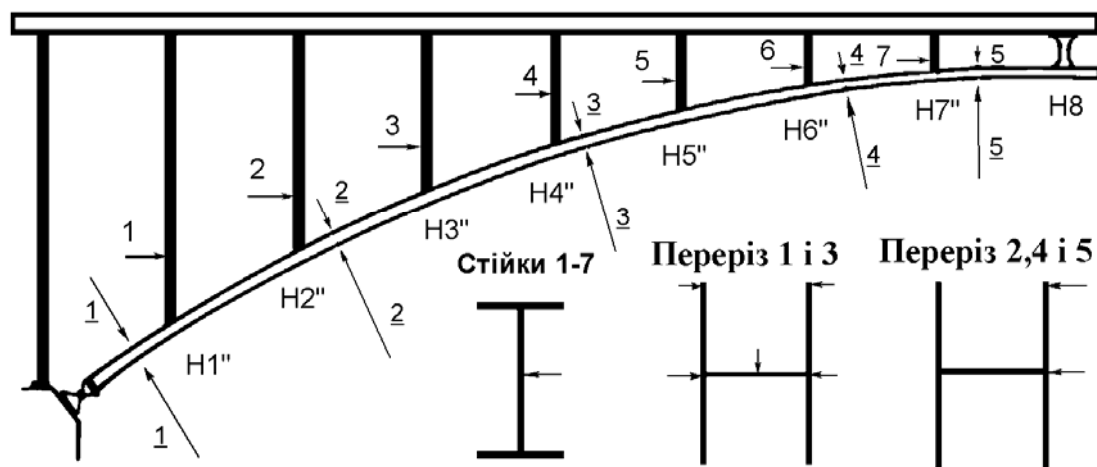


Рис. 2. Схема розміщення приборів при першому етапі випробувань

Вихідними параметрами стану конструкції на момент випробувань були:

- ростверк спирався на дві постійні берегові опори (5 та 6) та на дві тимчасові (під аркою);
- у панелях 2-3-4 знаходився візок вагою 300 кН;
- арки були частково стиснуті домкратами зусиллям 4 000 кН (75% власної ваги арки сприймали опори 5 та 6, а 25 % – ростверк);
- над арочні стояки розтягнуті тільки силою власної ваги.

– Після опускання балочного ростверку з'ясувалось, що:

- прогин замкового перерізу арки склав 110 мм;
- напруги в перерізах арки та стояках незначно відрізнялись від розрахункових (до 15 %).

Схеми навантаження для отримання найбільших прогинів, напруг та згинаючих моментів у перерізах арки і балок ростверку наведені на рис. 3.

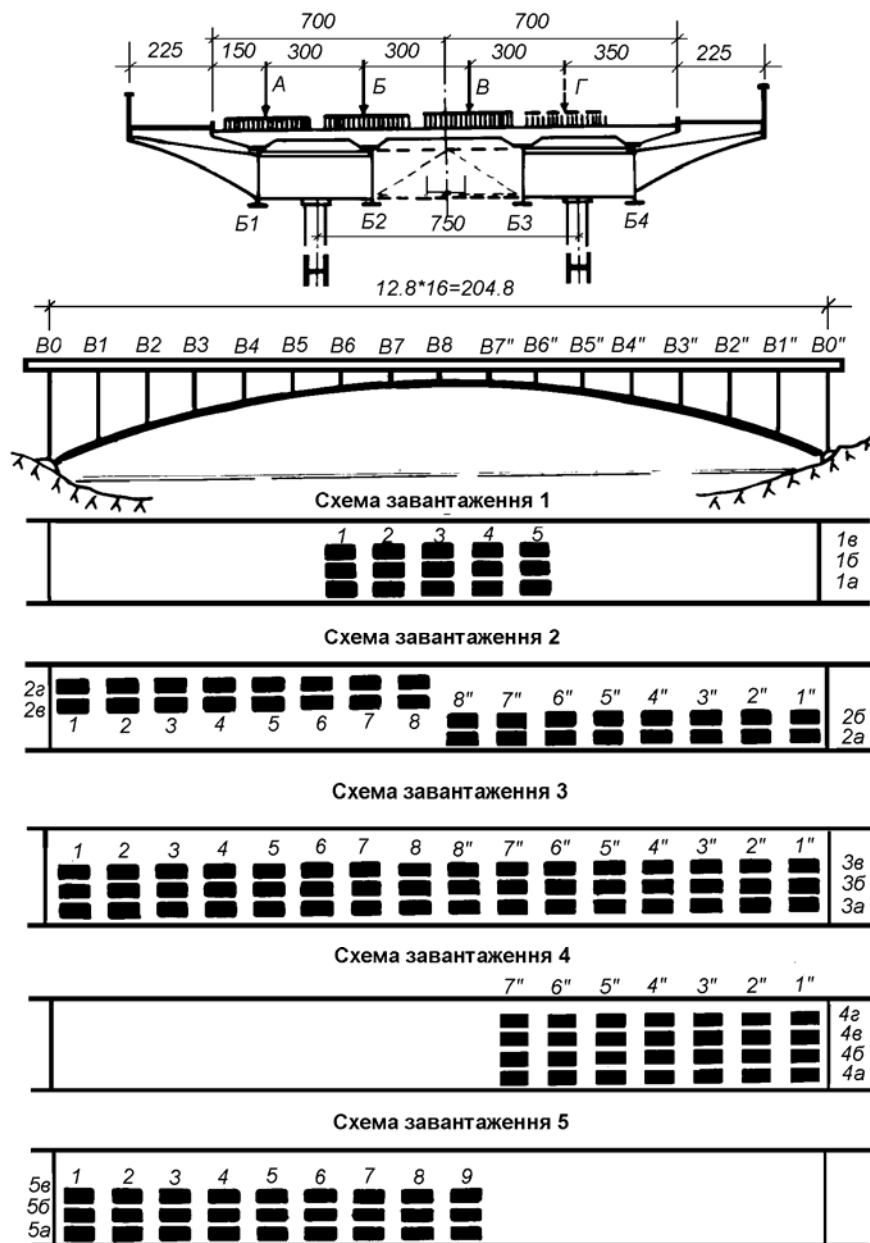


Рис.3. Схеми завантажень при статичних випробуваннях

У процесі проведення статичних випробувань вимірювались такі величини:

- прогини обох арок у середині і у чверті прогону (у вузлах Н8 та Н4);
- прогини балок ростверку у середині панелі В4"-В5" арки і у середині прогонів 9-10, 10-11 правобережної естакади;
- прогини автопроїзду по верховому бордюру;
- напруження в елементах верхової арки оп. 6-Н1", Н2"-Н3", Н4"-Н5" та Н7"-Н8" і стояках надарочної конструкції;
- напруження в поясах (верхньому та нижньому) балок Б2 і Б3 ростверка в панелі В3"-В4" арочного прогону, над опорою № 6 і в прогонах 9-10, 10-11 правобережної естакади;

– поздовжні переміщення кінців балочно-го ростверку на опорах № 1 та 11.

Прогини арок, балок ростверка і переміщення кінців прогонувої будови вимірювались прогиномірами типу ПМ-3 з ціною поділки 0,1 мм, прогини автопроїзду – нівеліром НВ-1 з встановленням рейки на верховому бордюрі напроти стояків надарочної конструкції. Напруження в перерізах арок і в балці ростверку вимірювались механічними тензометрами Аістова та електричними приборами – тензометричною установкою з дрютяними датчиками опору.

Схема встановлення приладів і їх розташування на поперечних перерізах елементів моста наведені на рис 4.

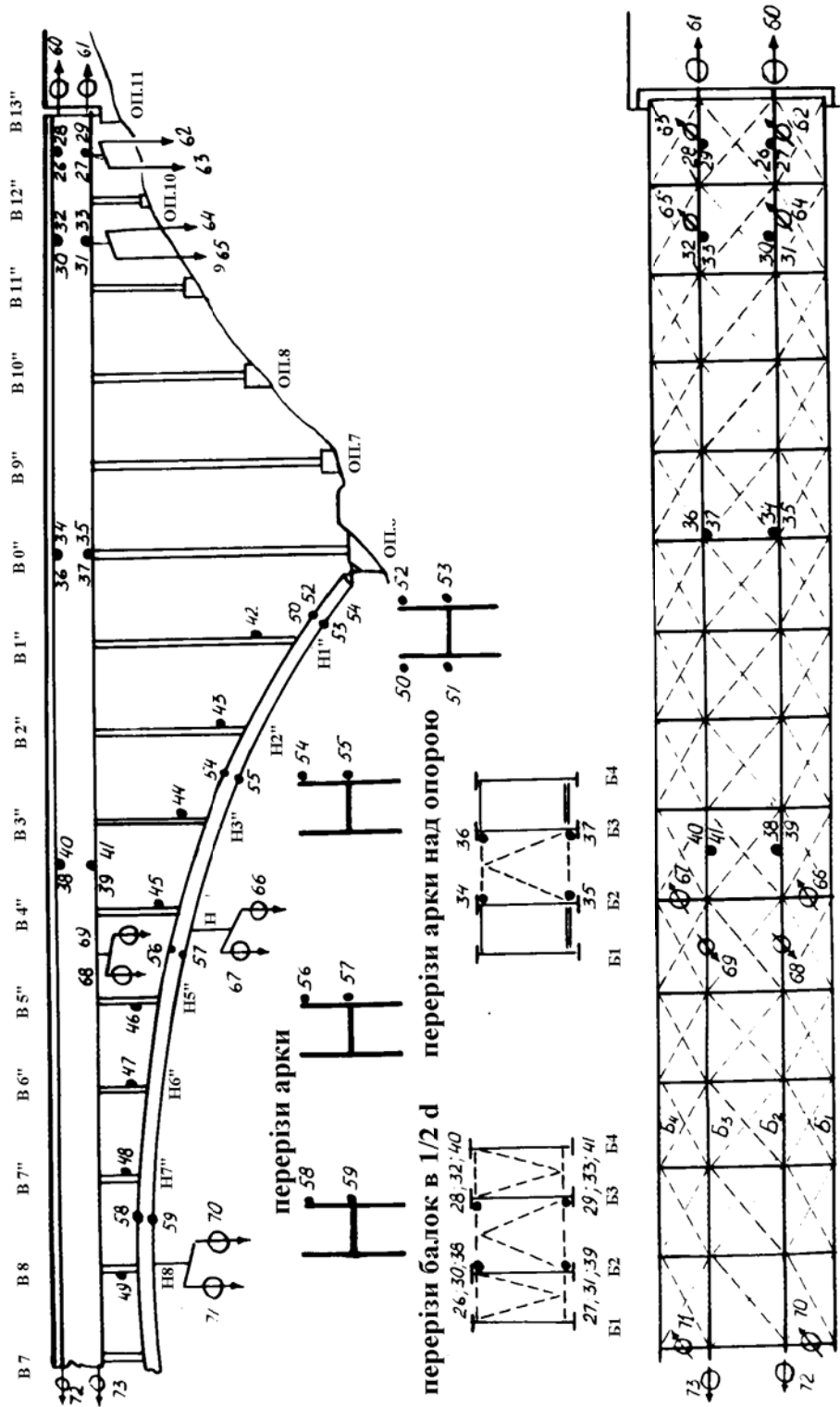


Рис. 4. Схема розміщення приборів при статичних випробуваннях

Для уточнення коефіцієнта поперечного встановлення навантаження і виявлення напруженого стану і деформативності арочної прогонової будови при різних положеннях навантаження поперек мосту, завантаження по кожній з вказаних на рис. 3 схемах проводилось

послідовно(посмужно) і після навантаження – розвантаження кожної смуги брались відліки по приладах.

Форма і величини прогинів арочної прогонової будови, виміряні по верхньому бордюру автопроїзду, наведені на рис. 5.

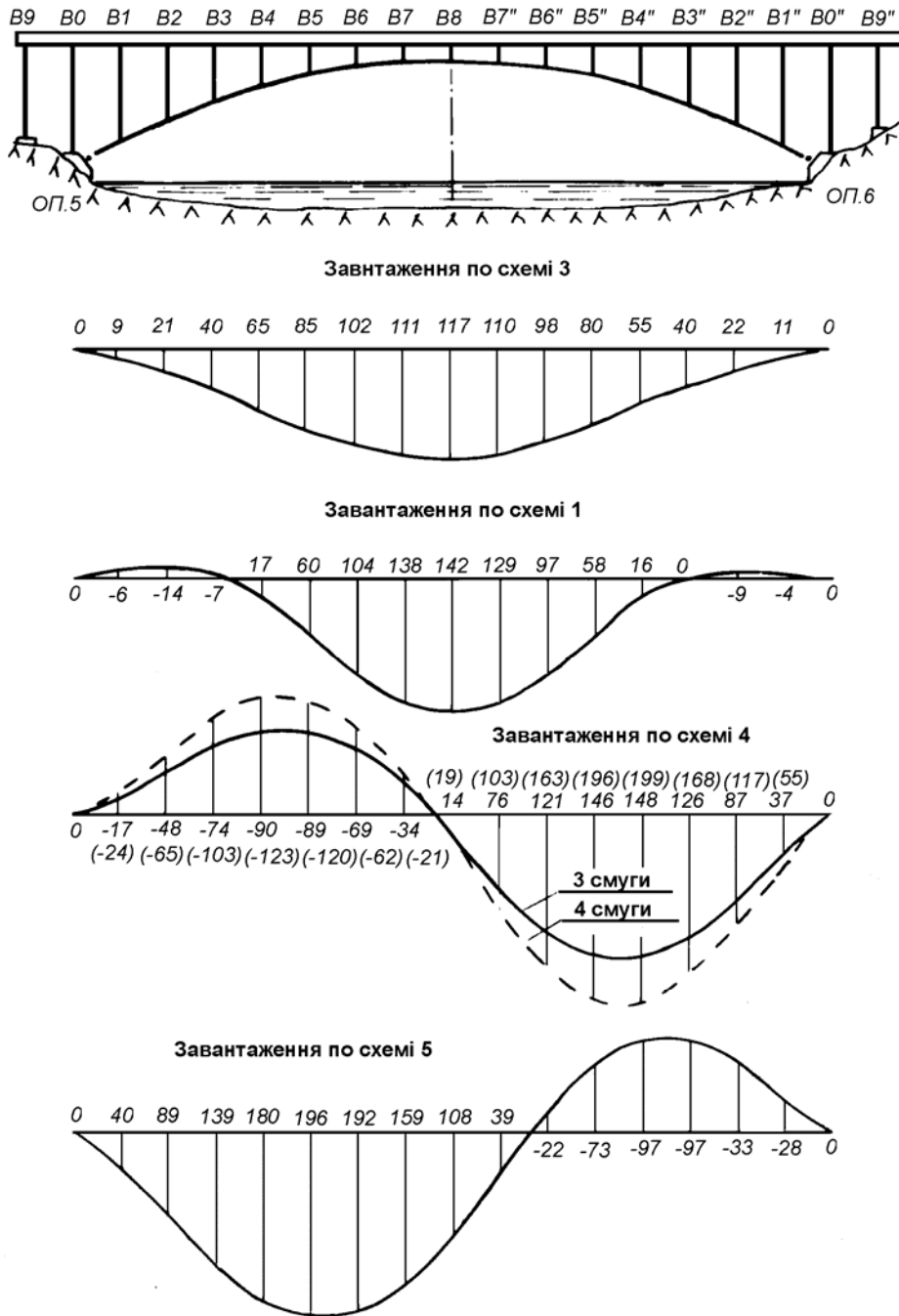


Рис. 5. Форми та величини прогинів арки при різних схемах навантажень

Поздовжні переміщення кінців балок ростверку на опорі № 11, при завантаженні по схемі 3 (див. рис. 5) не перевищують 24 мм, при завантаженні по схемі 4...23,5 мм і по схемі 5...18 мм.

Під час завантаження моста в прогонах 9–10 і 10–11 випробувальним навантаженням напруження у верхніх поясах балок не перевищували

100 кг/см², а в нижніх – 160 кг/см². Виміряні прогини балок в прогоні 10–11 від випробувального навантаження не перевищували 1,5 мм.

Враховуючи унікальність споруди, більш важливими слід вважати динамічні випробування.

Результати статичних випробувань наведені у табл. 1.

Напруження в перетинах арок, надарочних стояках і балках ростверку (кПа)

Найменування елемента конструкції	Шифр елемента	№ точок	Схеми навантаження				
			№ 1	№ 3	№ 4		№ 5
					3 смуги	4 смуги	
Балки ростверку	B0"	34	-2 100	0	+9 300	+18 500	-6 700
		35	+18 900	-10 500	-63 000	-84 000	+53 600
		36	-1 800	+2 700	+7 400	+14 900	-4 100
		37	+25 200	-8 400	-50 400	-74 500	+46 300
	B3"-H4"	38	+3 400	+2 700	-1 300	-1 800	+3 400
		39	-43 000	-10 100	+71 400	+96 600	-84 000
		40	+4 300	+1 300	-2 300	-2 100	+1 900
		41	-42 000	-9 500	+68 500	+95 600	-79 800
		42	-9 300	-8 400	-	-7 400	-13 700
Надарочні стояки	B2"-H2"	43	-	-	-	-	-
	B3"-H3"	44	-14 700	-17 800	-	-10 500	-24 200
	B4"-H4"	45	-18 900	-20 000	-	-	-
	B5"-H5"	46	-22 000	-	-	-23 100	-31 500
	B6"-H6"	47	-29 400	-40 000	-	-24 100	-18 900
	B7"-H7"	48	-16 800	-50 000	-	-36 100	-12 600
	B8"-H8"	49	-	-26 300	-	-31 500	-
	50	-10 500	-69 300	-62 000	-71 400	-9 500	
Арки	Op.6-H1"	51	-21 000	-53 600	-34 700	-36 800	-19 400
		52	-12 600	-70 300	-58 800	-70 400	-11 600
		53	-22 000	-69 000	-34 700	-39 900	-16 300
		54	-18 900	-46 200	-44 100	-49 400	-10 500
Арки	H2"-H3"	55	-21 000	-56 700	-3 600	-34 700	-27 300
		56	-21 000	-62 000	-49 300	-54 600	-31 500
	H4"-H5"	57	-15 700	-57 800	-34 700	-37 800	-35 700
		58	-38 800	-58 800	-30 500	-58 800	-49 400
		59	-27 300	-54 600	-26 300	-28 300	-33 600

Випробуванням піддавалась аркова прогонова будова, при цьому вимірялись такі динамічні характеристики:

- частоти і форми вільних та вимушених просторових(горизонтальних, вертикальних і крутильних) коливань;

- декременти коливань;
- амплітуди вимушених горизонтальних коливань;

- динамічні коефіцієнти елементів прогонової будови (арки, балки ростверку, стояків надарочної будови).

Для виявлення динамічних характеристик від дії рухомого випробувального навантаження, за допомогою тензOMETричної установки на плівку осцилографів записувались напруження в елементах прогонової будови:

- верхової арки (оп. 6-H1", H4"-H5", H7"-H8");

- у поясах головних балок ростверка в панелі B3"-B4" та в перерізі B0 над опорою 6;

- в одному (верховому) стояку опори 6;

- у надарочному стояку H4"-B4";

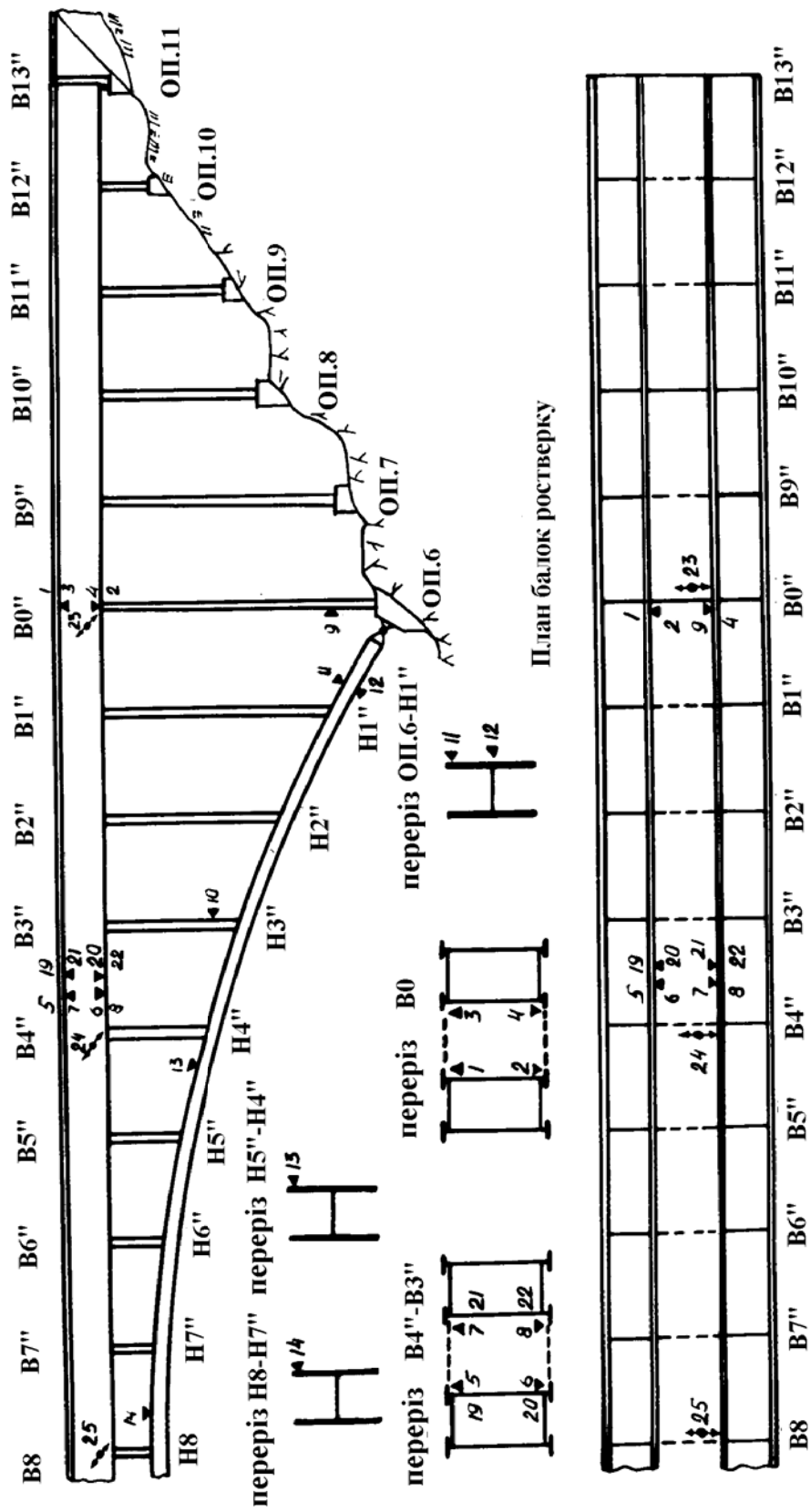
- та амплітуди вертикальних та горизонтальних коливань прогонової будови:

- у середині арочного прогону (над стояком № 8);

- у чверті прогону(над стояком № 4);

- на кінці прогону(над опорою № 6).

Всі динамічні процеси реєструвались тензOMETричною установкою на фотоплівці у вигляді осцилограм. Динамічні горизонтальні переміщення прогонової будови реєструвались установкою з інерційним маятником. Схема встановлення пристроїв на прогонової будові під час динамічних випробуваннях наведена на рис. 6.



Позначення:

◀ - датчики спротиву

↔ - інерційні маятники

Рис. 6. Схема розміщення пристроїв для реєстрації динамічних процесів

Як випробувальне динамічне навантаження використовувалось те ж саме навантаження (автомобілі), що й під статичних випробувань. Досвід випробувань автодорожніх мостів з багатосмуговим автопроїздом показав, що найбільші динамічні деформації елементів прогонових споруд моста виникають під час руху по одній з смуг автопроїзду одиночних машин або колон автомобілів при статично завантажених суміжних смугах проїзду. Аналогічний спосіб випробувань був використаний і для оцінки динамічного впливу навантаження на арокну будову. При цьому дві смуги автопроїзду по всій довжині арконого прогону були завантажені автомобілями по схемі 3 (див. рис. 2), а по незавантаженій смузі пропускалася колона з 16 навантажених автомашин КрАЗ з різними

швидкостями (10...70 км/год). Кількість таких дослідів визначалось можливістю використання статистичного метода обробки результатів випробувань. Частина дослідів проведена з проїздом автомобіля через перешкоди (поріжки) висотою 4 см, що укладені поперек автопроїзду в чверті і середині арконого прогону на відстані 100 см одна від одної. Для виявлення характеристик власних коливань прогонової будови (частот, форм і декрементів) проведений ряд досліджень з проїздом по мосту одиночного навантаженого автомобіля з різними швидкостями при незавантаженому арконому прогоні.

Основні динамічні характеристики арконого прогонової будови, отримані під час обробки експериментальних даних динамічних випробувань, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Експериментальні значення основних динамічних характеристик арконого прогонової будови

Найменування характеристик	Вимірник	Величина
Частоти основних тонів вільних коливань:		
горизонтальні	Гц	0,43
крутильні	Гц	0,86
вертикальні – $i = 1$	Гц	1,48
вертикальні – $i = 2$	Гц	1,80
вертикальні – $i = 3$	Гц	2,70
Періоди основних тонів вільних коливань:		
горизонтальні	С.	2,32
крутильні	С.	1,16
вертикальні – $i = 1$	С.	0,68
вертикальні – $i = 2$	С.	0,56
вертикальні – $i = 3$	С.	0,37
Характерні частоти примусових коливань завантаженого прогону	Гц	0,8...2,50
Декременти коливань	–	0,029...0,037
Найбільші значення динамічного коефіцієнта для балок та арок	–	1,045

Частоти вільних коливань досліджуваної прогонової будови, наведені в цій же таблиці, визначались по осцилограмах на ділянках, записаних після сходу випробувального навантаження з моста (по «хвостах» осцилограм).

При цьому було встановлено, що на цих ділянках осцилограм мали місце складні, зв'язані, багаточастотні форми коливань, для виявлення яких проводився гармонічний аналіз з використанням ЕОМ. Характерні значення частот вимушених коливань, наведених в табл. 3, виявлені на осцилограмах записаних у момент проїзду по мосту колони автомобілів при завантажених двох смугах в арконому прогоні по схемі 3 (див. рис. 3).

При цьому вибирались ділянки осцилограм, де мали місце найбільші амплітуди коливань (найбільші динамічні коефіцієнти).

Динамічні коефіцієнти визначались за загальновідомою формулою [1]

$$1 + \mu = \frac{f_{\max}}{f_{st}}, \quad (1)$$

де μ – експериментальне значення динамічної добавки; f_{\max}, f_{\min} – найбільша і найменша ординати динамічних напружень, виміряні на осцилограмі на ділянці одного періоду коливань.

Результати статичних і динамічних випробувань моста дозволили перевірити якість виконаних будівельно-монтажних робіт по спорудженню моста, встановити його несучу здатність, визначити напружений стан і деформативність моста, а також уточнити розрахункові припущення та деякі нормативні дані, прийняті під час проектування моста.

Статичні випробування:

1. Послідовне завантаження випробувальним навантаженням смуг автопроїзду за схемами 3 і 4 (див. рис. 3) зі зняттям відліків по приладах після завантаження–розвантаження кожної смуги дозволило встановити залежності

величин напружень в елементах арки і надарочної конструкції від положення навантаження поперек моста. При цьому було встановлено, що експериментальні значення коефіцієнтів поперечного встановлення суттєво відрізняються від прийнятих у розрахунках.

2. Для оцінки класу прийнятого проектом розрахункового тимчасового навантаження і інтенсивності випробувального навантаження, якою був випробуваний міст, проводився перерахунок з урахуванням експериментального значення коефіцієнта поперечного встановлення. Результати перерахунку наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Тимчасове рухоме навантаження на одну арку

Найменування навантаження	Вимірювач	Навантаження		Різниця	
		Повірочний розрахунок	По проекту	в т/м	в %
Розрахункове навантаження	т/м	5,46	7,07	1,61	29
Нормативне навантаження з динамічним коефіцієнтом	т/м	3,90	5,05	1,15	29
Випробувальне навантаження	т/м	4,06	4,90	0,84	20

З порівняння наведених в табл. 3 даних видно, що прийняте проектом тимчасове рухоме навантаження, яке припадає на одну арку, перевищує розрахункове Н-30 на 29 %.

Випробувальне навантаження під час завантаження за схемою 3 складало 102 % від нормативної Н-30 з врахуванням динамічного коефіцієнта.

3. Оцінюючи отримані результати, дійшли висновку, що найбільші напруження у арці і мінімальні в балках ростверку мали місце під час завантаження за схемою 3. При цьому в арці виникали, в основному, стискаючі зусилля і незначні згинаючі моменти. Найбільші напруження в перерізах головних балок (у нижніх їх поясах) і значні напруження в арці від згинання виникали при навантаженні половини прогону за схемами 3 та 4. Напруження у верхніх поясах головних балок у декілька разів менше ніж напруження у нижніх поясах, що свідчить про надійне включення плити проїжджої частини у сумісну роботу з головними балками.

4. Прогин прогонової будови в арочному прогоні і напруження в балках та арці, виміряні від випробувального навантаження (близького до нормативного Н-30) значно меншого від розрахункових їх значень від прийнятого в проекті навантаження без коефіцієнта перевантаження. Суттєва різниця між розрахунковими і експериментальними значеннями прогинів та

напружень вказують на невідповідність деяких розрахункових припущень про дійсну роботу дослідженої конструкції прогонової будови. Ця невідповідність в свою чергу вказує на наявність деякого (суттєвого) резерву несучої здатності основних конструктивів моста (арок, стояків надарочної будови і балок ростверку). Вказані запаси несучої здатності частково вичерпані збільшенням власної ваги конструкції (перевищення у порівнянні з проектом товщини слою асфальтного покриття автопроїзду та тротуарів).

Динамічні випробування:

1. Рух по мосту колони і одиночних автомобілів при завантаженому та незавантаженому арочному прогоні супроводжувався багаточастотними зв'язаними просторовими (горизонтальні, вертикальні, крутильними) формами коливань.

2. Гармонічний аналіз динамічних процесів незавантаженої прогонової будови (власних коливань), записаних маятниками (горизонтальні і крутильні коливання), і вимірювальними мостами (вертикальні і крутильні коливання), дозволили встановити частотні характеристики основних тонів горизонтальних, вертикальних і крутильних коливань.

3. Згідно з пунктом СНиП [3]: у прогонових будовах пішохідних та міських мостів періоди власних коливань по двох нижчих формах не повинні бути 0,45...0,60 с – в вертикальній і 0,9...1,2 с – в горизонтальній площинах.

Проаналізувавши результати динамічних випробувань моста, можна зробити висновок, що період вертикальних власних коливань по другій формі ($T = 0,56$ с) знаходиться у діапазоні не рекомендованому вищезазначеним пунктом СНиП [3].

4. Найбільші амплітуди вимушених коливань завантаженої прогонової будови мали місце під час коливання з частотами 2,50...0,8 Гц. Під час коливання в цьому діапазоні мали місце найбільші динамічні коефіцієнти, але величини яких добре співвідносяться з нормативними за СН [3] та СНиП [2].

Для порівняння та детального аналізу був проведений розрахунок конструкції як регулярної балки на пружних опорах та за методом скінченних елементів (МСЕ).

Результати розрахунків будуть наведені у наступній публікації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Баренбойм И. Ю. Индустриальное строительство мостов / И. Ю. Баренбойм, М. Е. Карасик // Будівельник. – К., 1978.
2. СНиП 2.05.03-84 «Мости и трубы».
3. СН 200-62.

Надійшла до редколегії 25.11.2005.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ГИБКИХ НИТЕЙ ПРИ ЗАГРУЖЕНИИ ИХ СОСРЕДОТОЧНЫМИ СИЛАМИ

Розглядаються особливості роботи попередньо напружених пружних гнучких ниток під дією поперечних зосереджених сил.

Рассматриваются особенности работы предварительно напряженных упругих гибких нитей под действием поперечных сосредоточенных сил.

The operational features of prestressed resilient elastic threads under the influence of lateral point forces have been estimated.

Упругие гибкие нити достаточно широко применяются в различных областях техники. Характерной особенностью гибких нитей является весьма малая величина их изгибной жесткости, которой обычно пренебрегают, и поэтому поперечные нагрузки воспринимаются только осевыми усилиями в нити.

В мостостроении гибкие нити находят применение в несущих конструкциях висячих и вантовых систем, в разводных мостах и в других конструкциях.

Гибкие нити обычно имеют значительное провисание под действием собственного веса. При наличии предварительного натяжения нити провисание уменьшается и зависит от величины натяжения, а в случае расположения опор на одной вертикали отсутствует полностью.

При параллельной работе нескольких упругих нитей или канатов важной проблемой является контроль равномерности начального натяжения отдельных нитей.

В настоящей работе с целью проверки начального натяжения выполнены расчеты поперечных перемещений вертикальной упругой гибкой нити под действием сосредоточенных поперечных сил при постоянной и изменяющейся величине натяжения нити в процессе ее нагружения.

В первом случае предполагается, что в исходном состоянии вертикальная упругая гибкая нить натянута продольной силой N (например, от веса подвешенного груза), под действием которой происходит продольная деформация нити. Затем в произвольном сечении длины ℓ гибкой нити прикладывается горизонтальная сила P и устанавливаются функциональные зависимости этой силы $P = f_1(N, Y)$ от начального натяжения нити N и перемещения Y по направлению действия силы.

При действии горизонтальной силы P в середине длины нити величина ее с учетом расчетной схемы, показанной на рис. 1, будет определяться следующими зависимостями [1]:

$$P = 2N \sin \alpha = 2N \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{2N \frac{Y}{\ell}}{\sqrt{1 + 4 \left(\frac{Y}{\ell}\right)^2}}. \quad (1)$$

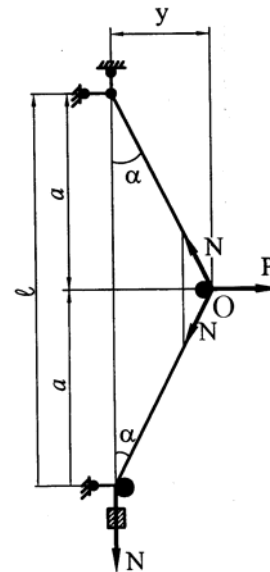


Рис. 1. Расчетная схема при усилии в канате $N = \text{const}$

При малой величине отношения Y/ℓ (до 0,2...0,25) с достаточной точностью можно принять [2]

$$P = f_1(N, Y) = \frac{4N \frac{Y}{\ell}}{1 + 2 \left(\frac{Y}{\ell}\right)^2}. \quad (2)$$

Анализ зависимостей (1) и (2) показывает, что при относительно малых значениях перемещений Y функциональная зависимость $P = f_1(N, Y)$ является слабо нелинейной и не зависящей от сечения гибкой нити. Натяжение нити при этом не изменяется, и поэтому начальное натяжение ее может определяться по формулам

$$N = \frac{P\ell}{4Y} \sqrt{1 + 4\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2} \approx \frac{P\ell}{4Y} \left[1 + 2\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2 \right], \quad (3)$$

где P и Y – соответственно величина горизонтальной силы и вызванного этой силой перемещения, которые могут быть получены с высокой точностью в результате натурных измерений; ℓ – длина гибкой нити или каната.

Во втором случае предполагается, что в исходном состоянии упругая гибкая нить натянута продольной силой N , после чего оба конца нити жестко закрепляются. При этом поперечные перемещения у нити оказываются возможными только в результате ее дополнительного удлинения и приращения натяжения ΔN , которое определяется по формуле

$$\Delta N = EF \frac{\Delta a}{a} = EF \left(\frac{a_1}{a} - 1 \right),$$

где E и F – модуль упругости и площадь поперечного сечения гибкой нити или каната; a и a_1 – соответственно половина длины нити до деформации и после деформации (рис. 2).

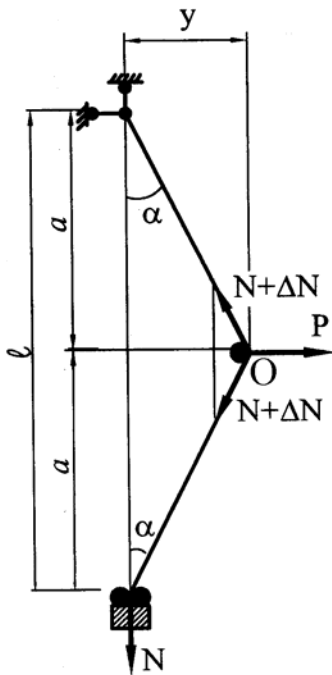


Рис. 2. Расчетная схема при усилении в канате $N \neq \text{const}$

В этом случае, учитывая сумму проекций всех сил, действующих в точке O , получим

$$P = 2(N + \Delta N) \sin \alpha = 2 \left(N + EF \left(\frac{a_1}{a} - 1 \right) \right) \sin \alpha. \quad (4)$$

Заметив, что

$$\sin \alpha = \frac{\text{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}}, \quad \text{tg} \alpha = \frac{Y}{a} = \frac{2Y}{\ell};$$

$$a_1 = a \sqrt{1 + \left(\frac{Y}{a}\right)^2} = a \sqrt{1 + 4\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2}$$

и учитывая зависимость (4), находим

$$P = 2 \left[N + EF \left(\sqrt{1 + 4\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2} - 1 \right) \right] \times \frac{2Y}{\ell} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 4\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2}}. \quad (5)$$

При малой величине отношение $\frac{Y}{\ell}$ выражение (5) упрощается и приводится к такому виду

$$P = \left(\frac{4NY}{\ell} + 8EF \left(\frac{Y}{\ell} \right)^3 \right) \frac{1}{\left(1 + 2\left(\frac{Y}{\ell} \right)^2 \right)}, \quad (6)$$

откуда следует, что функция $P = f_2(N, Y)$ является существенно нелинейной даже при относительно малых значениях перемещения Y или отношения $\frac{Y}{\ell}$.

Начальное натяжение гибкой нити или каната в этом случае определяется по формулам

$$N = \frac{P\ell}{4Y} \sqrt{1 + 4\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2} - 2EF \left(\frac{Y}{\ell} \right)^2 \approx \frac{P\ell}{4Y} \left[1 + 2\left(\frac{Y}{\ell}\right)^2 \right] - 2EF \left(\frac{Y}{\ell} \right)^2. \quad (7)$$

По местным условиям измерений в случае отсутствия доступа к середине длины вертикального каната поперечная нагрузка может прикладываться на расстоянии $\varepsilon \ell$ от одного из

концов каната (при $0,1 \leq \varepsilon \leq 0,5$). Тогда зависимости (3) и (7) приближенно можно представить в таком виде:

$$N_{\text{нач}} = \frac{P\ell}{Y} \varepsilon(1-\varepsilon) \left(1 + 2 \left(\frac{Y}{\ell} \right)^2 \right); \quad (8)$$

$$N_{\text{нач}} = \frac{P\ell}{Y} \varepsilon(1-\varepsilon) \left(1 + 2 \left(\frac{Y}{\ell} \right)^2 \right) - \frac{EF \left(\frac{Y}{\ell} \right)^2}{\frac{2\varepsilon^2(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3(1-\varepsilon)^3}}. \quad (9)$$

Наряду с аналитическими решениями указанных задач проведены экспериментальные измерения на моделях, которые подтвердили высокую точность полученных результатов.

Результаты исследований могут быть использованы для проверки натяжения гибких нитей (канатов) от предварительного напряжения и постоянных нагрузок, действующих на конструкцию.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дарков А. В. Строительная механика / А. В. Дарков, В. И. Кузнецов. – М.: Трансжелдориздат, 1956 – 492 с.
2. Бронштейн И. Н. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 608 с.

Надійшла до редколегії 23.10.2005.

АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Наведено аналіз проблем застосування монолітного бетону в гідротехнічному будівництві. Виділено основні фактори, що впливають на властивості бетонних сумішей для підводного бетонування. Визначено шляхи подальших досліджень для розробки ефективних сумішей для підводного бетонування.

Приведен анализ проблем применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве. Выделены основные факторы, влияющие на свойства бетонных смесей для подводного бетонирования. Определены пути дальнейших исследований для разработки эффективных составов для подводного бетонирования.

The article provides analysis of the issues of using monolithic concrete in hydro-technical construction, selects the main factors, influencing the characteristics of concrete mixtures for underwater concreting and determines the basic ways of further research for development efficient compositions for underwater concreting.

Бетон прочно занял место основного строительного материала в гидротехническом строительстве и, в частности, при подводном производстве работ. Несмотря на появление новых эффективных материалов и конструкций, бетон сохранит свое ведущее положение, по-видимому, и в новом тысячелетии. Сначала гидротехнический бетон применяли исключительно для монолитных конструкций гидросооружений. Однако в послевоенные годы отечественные строители стремились заменить монолитные конструкции сборными, что позволяло повысить темпы возведения гидротехнических сооружений.

В течение 1955–1965 гг. в СССР производство сборного железобетона по объему превышало его выпуск в США, Англии, Франции и ФРГ вместе взятых. За это время производство сборного железобетона в СССР увеличилось в 18 раз по сравнению с предыдущими годами.

В результате такого бурного развития применения сборного железобетона значительно отстали технология и методы механизации производства монолитных бетонных работ, из них объем производства гидротехнического бетона составлял около 35 %. Монолитный бетон и железобетон, как показывают расчеты, экономичнее сборного в подводных частях гидротехнических сооружений [1; 2].

В гидротехническом строительстве для монолитных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений используют практически только цементные бетоны, приготовленные, как правило, на природных каменных заполнителях из плотных горных пород. Тяжелые бетоны плотностью 2 200...2 500 кг/м³ с дополнительными требованиями по морозостойкости и водонепроницаемости называются гидротехниче-

скими. Легкие монолитные бетоны плотностью менее 2 100 кг/м³ на естественных (шлак, пемза, туф) или искусственных (керамзит, аглопорит, вермикулит) заполнителях для гидротехнического строительства применяют редко.

Обеспечить высокое качество гидротехнических бетонных конструкций и сооружений возможно в результате комплекса мероприятий: назначения оптимального состава бетонной смеси с целью достижения необходимых ее технологических свойств и физико-механических характеристик затвердевшего бетона, надлежащей организации производства работ и использования обоснованных технологических приемов приготовления, транспортирования, укладки бетонной смеси и ухода за гидротехническим бетоном. В настоящее время эти вопросы остаются открытыми и требуется решение данной проблемы при возведении подводных сооружений. На сегодняшний день эти вопросы относятся к малоисследованной области бетоноведения. Поэтому с целью выбора пути дальнейших исследований был проведен анализ литературы посвященной вопросам применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве.

Прежде всего, важно произвести выбор цемента для подводного бетонирования.

Важнейшей характеристикой цементов является их активность, определяемая по прочности при сжатии специально изготовленных образцов. Эффективное использование цемента в гидротехническом бетоне во многом связано с соответствием его марки прочности бетона. Поэтому бетонное хозяйство на строительстве гидротехнических объектов должно предусматривать использование различных марок и видов

цементов. Такая задача не вызывает технических затруднений, однако, ритмичная поставка необходимой номенклатуры цементов иногда не обеспечивается. «Вытягивание» высокой марки гидротехнического бетона на цементе недостаточной активности не только вызывает его перерасход, но нередко приводит к необходимости снижения водосодержания бетонной смеси.

Основной характеристикой цемента, влияющей на технологические свойства бетонной смеси для подводного бетонирования, является нормальная густота (НГ) цементного теста, непосредственно влияющая на водопотребность бетонной смеси. Естественно, что при заданном цементно-водном отношении (Ц/В) бетонной смеси, определяющем физико-механические характеристики затвердевшего гидротехнического бетона, увеличение нормальной густоты вызывает необходимость повышения расхода цемента в бетоне. Повышение нормальной густоты на 1 % приводит к перерасходу цемента примерно на 15...20 кг/м. Для гидротехнического бетона принято, что НГ не должна превышать 27 %. Обычно цементные заводы не выдерживают этого требования, добавляя к цементу повышенное количество инертных добавок.

Как установлено производственной практикой, для гидротехнического бетона очень важной характеристикой являются сроки схватывания цементного теста. Регламентированные стандартами сроки начала и конца схватывания, как правило, соблюдаются, но к сожалению, нередко колеблются в довольно широких пределах, что необходимо учитывать при назначении технологических режимов трубопроводного транспортирования и укладки бетонной смеси, связанных с кинетикой потери подвижности бетонной смеси во времени.

Серьезным препятствием при перекачивании бетонной смеси по трубопроводу в процессе подводного бетонирования является так называемое ложное схватывание некоторых цементов. Оно выражается в чрезвычайно интенсивной потере подвижности бетонной смеси сразу после ее приготовления. Сведения о влиянии этого эффекта на свойства бетонной смеси для подводного бетонирования в литературе отсутствуют. Причины ложного схватывания до конца не изучены, хотя обычно их объясняют обезвоживанием гипса при помолу горячего цементного клинкера. Одним из способов борьбы с ложным схватыванием является увеличение продолжительности перемешивания бетонной смеси, что не всегда возможно в условиях гидротехнического строительства.

Технология подводных бетонных работ ставит задачу ускорить схватывание цементного

теста в бетоне, твердеющем в водной среде. Есть сведения [1], что эти задачи можно решать введением различных специальных добавок и наполнителей.

Установлено, что принципы выбора цементов для подводных работ, кроме пуццолановой направленности, малоизучены и требует более глубоких исследований.

Современное развитие технологии подводного ремонта и бетонирования, а также проектирования составов гидротехнических бетонов базируется на научных основах, разработанных А. А. Байковым, Б. Е. Веденевым, В. И. Дмитриевским, И. Е. Картевым, В. А. Киндом, С. Н. Курочкиным, В. М. Москвиным, С. Д. Огороковым, А. Н. Пшинько, В. Н. Пунагиным, Н. Н. Руденко, Б. Г. Скрамтаевым, В. В. Сторльниковым, Е. Г. Челиевым, С. В. Шестоперовым, В. Н. Юнгом и др.

Учеными установлено, что реологические свойства бетонной смеси для подводных работ чрезвычайно сильно зависят и от зернового (гранулометрического) состава применяемого мелкого заполнителя. Модуль крупности мелкого заполнителя $M_{кр}$ весьма условно характеризует его свойства. При равном модуле крупности разные пески могут существенно отличаться по удельной поверхности и пустотности. Чем выше удельная поверхность песка и его пустотность, тем соответственно больше необходимо в бетонной смеси, транспортируемой по трубопроводу, цементного теста для создания цементной обмазки отдельных зерен песка и для заполнения пространства между ними.

Для трубопроводного транспорта обычно применяют литые бетонные смеси. Однако оптимальная гранулометрия мелкого заполнителя для таких смесей не исследована. Повидимому, обычные рекомендации об использовании крупных песков здесь неприменимы. Очевидно, что использование мелких песков по сравнению с крупными будет вызывать рост водопотребности бетонной смеси и некоторое повышение расхода цемента на 5...16 % при использовании равноподвижных смесей для равнопрочного гидротехнического бетона.

Важнейшей задачей гидротехнической лаборатории является назначение составов бетона, обеспечивающих необходимые технологические свойства бетонной смеси при трубопроводном транспортировании, и достижение заданных физико-механических характеристик подводного бетона при наименьшем расходе цемента. В гидротехническом строительстве обычно выдвигают другое, более общее условие – получение эконо-

мичного состава бетона. Несмотря на то, что цемент – наиболее дорогой компонент смеси, выполнение требований наименьшего расхода цемента или наименьшей стоимости гидротехнического бетона может в принципе привести к нежелательным результатам.

Методы определения состава гидротехнического бетона базируются на фундаментальных исследованиях связей между характеристиками и соотношениями составляющих его материалов, с одной стороны, и свойствами бетонной смеси и затвердевшего гидротехнического бетона – с другой. основополагающие исследования в области бетоноведения проведены И. Г. Малогой, опубликовавшим результаты своих научных работ в 1895 и 1897 гг., Н. М. Беляевым, руководившим в 1927–1929 гг. комплексным изучением этой проблемы в Ленинградском институте инженеров путей сообщения, французским исследователем Р. Фере и американским ученым Д. Абрамсом, в 1918 г. доказавшим, что прочность бетона на конкретном цементе в широком диапазоне составов определяется отношением количества воды и цемента В/Ц. Это положение, получившее в дальнейшем название «закона водоцементного отношения», лежит и сегодня в основе практически всех методов определения составов бетона.

Другой важнейшей экспериментально установленной закономерностью, используемой при проектировании составов, является правило постоянства водосодержания. В соответствии с ним для конкретного состава используемых компонентов консистенция бетонной смеси при постоянном расходе воды практически не зависит от расхода цемента в диапазоне 200...350 кг/м³.

Свойства и содержание отдельных фракций заполнителей в гидротехническом бетоне существенно влияют как на его физико-механические характеристики, так и, в особенности, на консистенцию бетонной смеси. Обычно при назначении составов стремятся снизить водопотребность бетонной смеси, подбирая соответствующую долю песка r в смеси заполнителей.

Величину r , соответствующую минимуму водопотребности, считают для обычного бетона оптимальной. Однако при подборе составов гидротехнического бетона r , по-видимому, следует назначать несколько выше этого оптимума для обеспечения нераслаиваемости бетонной смеси для подводных работ. В противном случае неизбежные колебания характеристик заполнителей могут явиться причиной попадания r на левую ветвь параболы, характерную для

неудобообрабатываемых бетонов с недостаточной раздвижкой зерен крупного заполнителя растворной частью и склонных к сегрегации. Чем стабильнее характеристики заполнителей, тем ближе к оптимуму может назначаться r .

При нестабильных характеристиках заполнителя даже повышение r не избавляет от высокой колеблемости, водопотребности и, следовательно, консистенции бетонной смеси. В этих случаях следует увеличить (против необходимого для обеспечения прочности) расход цемента, что обеспечивает меньшую чувствительность технологических характеристик бетонной смеси при более пологой параболической зависимости ее водопотребности от r .

Основной технологической характеристикой бетонной смеси при трубопроводном транспортировании является ее консистенция. Для такого способа транспортирования обычно применяют высокоподвижные бетонные смеси.

Консистенция бетонной смеси должна обеспечивать надежность транспортирования и возможность укладки ее в опалубку подводной конструкции. Поэтому консистенцию следует назначать с учетом условий бетонирования и формы конструкции.

Выводы

Таким образом, в результате проведенного анализа литературы, посвященной вопросам применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве, было установлено, что наиболее важными факторами являются:

- выбор цемента для подводного бетонирования и модифицирующих добавок;
- оптимальный подбор зернового (гранулометрического) состава применяемого заполнителя;
- выбор метода определения состава гидротехнического бетона.

Сейчас проводятся исследования по оптимизации приведенных выше факторов с целью разработать эффективные составы для ремонта подводных транспортных сооружений. Результаты будут опубликованы в ближайшее время.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений: Монография. – Д.: Пороги, 2000. – 411 с.
2. Клочко Б. Г. Биоводостойкий гидротехнический бетон с полимерфенольными добавками: Монография. – Д.: Арт-Пресс, 1998. – 184 с.

Поступила в редколлегию 21.09.2005.

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСОВОЙ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ

Дослідження структури холоднокатаної на 20 % низьковуглецевої сталі свідчать, що існують значні об'єми фериту, які мають вигляд періодичних дислокаційних структур, подібних чарунковим. Після чотирьох циклів знакозмінного згину виявлені зміни розподілу дислокацій в чарунках та смуговій структурі.

Исследования структуры холоднокатаной на 20 % низкоуглеродистой стали показали существование значительных объемов феррита, имеющих вид периодических дислокационных структур, подобных ячеистым. После четырех циклов знакопеременного изгиба обнаружены изменения дислокационного распределения в ячейках и полосовой структуре.

Investigations of the structure of cold rolling 20% low carbon steel showed the existence of a considerable volume of ferrite that have periodic dislocation structures, similar to dislocation cells. After four alternating bending cycles, there have been noted changes in the dislocation distribution in cells and the strip structure.

По сравнению с однонаправленным деформированием, изменение знака нагружения сопровождается не только снижением сопротивления малым пластическим деформациям [1], но и напряжения течения [2]. При этом одновременно происходит уменьшение плотности дефектов кристаллического строения, введенных в металл при первоначальном нагружении и изменение их распределения [1; 2]. Можно полагать, что изучение процессов структурообразования при знакопеременном нагружении позволит объяснить разупрочнение углеродистой стали, например, после холодной пластической деформации.

Целью настоящего исследования явилось изучение закономерностей эволюции дислокационной структуры низкоуглеродистой холоднокатаной стали после знакопеременного изгиба.

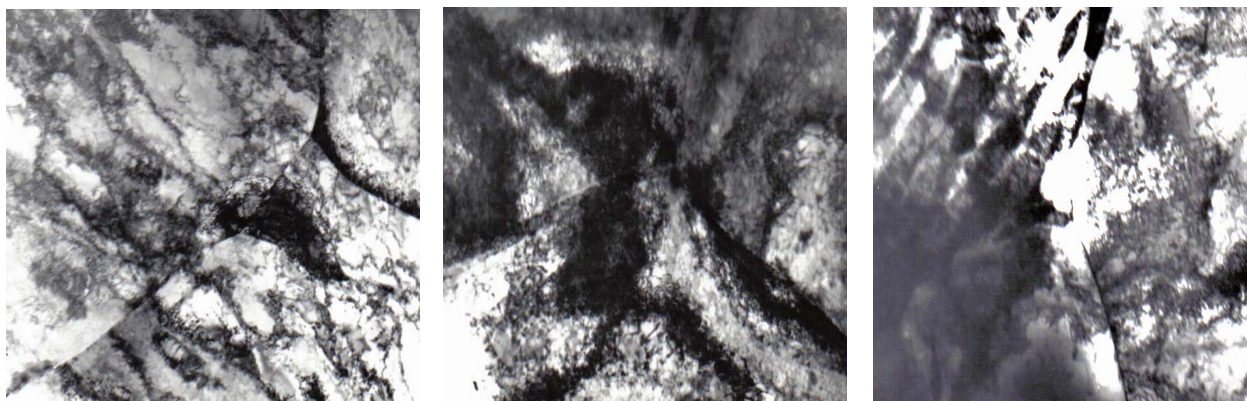
Материалом для исследования служил холоднокатаный на 20 % листовой прокат толщиной 1 мм из стали, содержащей 0,12 % С; 0,50 % Мп; 0,31 % Si; 0,015 % Р; 0,030 % S. Знакопеременное деформирование изгибом осуществляли, совместно с предварительным натяжением полосы до уровня результирующих напряжений не выше 0,2 от предела текучести, на специально разработанной установке [3].

Электронно-микроскопические исследования на просвет проводили на электронном микроскопе УЭВМ-100К при ускоряющем напряжении до 100 кВ. Приготовление объекта для исследования осуществляли по методике [4].

Увеличение числа циклов, при изгибно-растяжном деформировании холоднокатаной низкоуглеродистой стали, сопровождается монотонным снижением пределов текучести и прочности до 20 % при одновременном повышении относительного удлинения в 1,5–2 раза [3]. Как показали электронно-микроскопические исследования, развитие процессов разупрочнения при изгибно-растяжном деформировании холоднокатаного металла, обладающего несовершенной дислокационной ячеистой структурой (рис. 1, а), обусловлено субструктурными изменениями – измельчением ячеек, ростом их равноосности, сдвигом субграниц [2].

Дополнительное изучение внутреннего строения холоднокатаной стали, помимо начальных этапов формирования ячеистой структуры (рис. 1), с размытыми субграницами, в которых довольно хорошо различаются отдельные дислокации, позволило обнаружить структурные образования (рис. 1, б, в), по внешним признакам существенно отличающиеся от субграниц ячеек и напоминающие полосовые структуры усталостного происхождения [4].

Анализ внутреннего строения отдельных полос (рис. 1, в) указывает на существование немонотонностей дислокационного распределения и возможное их ориентирование в направлении поперек полосы. Обнаруженные участки со структурой подобной полосовой даже в случае формирования несовершенной ячеистой субструктуры, в первую очередь обусловлены неравномерностью распределения дислокаций, особенно на ранних этапах пластического течения [1; 2].

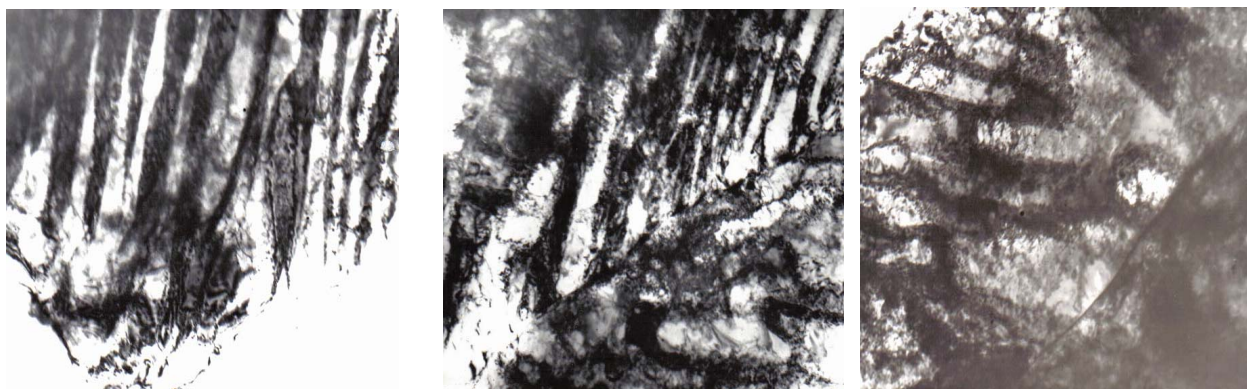


a

б

в

Рис. 1. Дислокационная структура низкоуглеродистой стали после 20 % пластической деформации. Увеличение 13 000 x 1,1



a

б

в

Рис. 2. Дислокационная структура холоднокатаной на 20 % стали после 4-х циклов знакопеременного изгиба. Увеличение 13 000 x 1,1

Сравнительный анализ тонкокристаллического строения холоднокатаной стали (см. рис. 1), подвергнутой четырем циклам знакопеременного изгиба (см. рис. 2), обнаружил существенные различия. Прежде всего обращают на себя внимание изменения, произошедшие в полосовой структуре.

На основании этого, обнаруженное ранее в результате знакопеременного нагружения развитие аннигиляционных процессов [2], вместе со снижением полюсной плотности холоднокатаного состояния [3] получают дополнительное объяснение. Как следует из анализа внутреннего строения стали, в результате знакопеременного изгиба, ранее размытая с очень мало различающейся плотностью дислокаций (ρ) полосовая структура (см. рис. 1, *в*) претерпевает существенные изменения (см. рис. 2, *а*).

Наблюдаемые вытянутые отдельные петли или участки скопления петель, свидетельствуют о переходе дислокаций из областей с пониженной ρ в полосы с высокой плотностью дислокаций (см. рис. 2, *б*). При этом значительно

возрастает градиент ρ между областями (разная контрастность). Следовательно, в первом приближении, помимо изменений дислокационной ячеистой структуры, разупрочнение холоднокатаного металла после знакопеременного изгиба связано с формированием полосовой структуры с резко возрастающим градиентом дислокаций.

Кроме этого, формирование отдельных участков, соединяющих параллельно расположенные полосы с повышенной плотностью дислокаций (см. рис. 2, *б, в*), можно рассматривать как свидетельства развития скольжения по кристаллографическим системам, отличающимся от имеющих место при деформации прокаткой.

Приведенные данные находятся в достаточно хорошем согласии с ранее обнаруженными изменениями текстуры холоднокатаного металла [2; 3]: в результате знакопеременного изгиба появляются рефлексy полюсной плотности (212) не характерные для холоднокатаного металла. Они снижают уровень текстурных параметров углеродистой стали после прокатки.

На основании приведенных экспериментальных данных можно полагать, что наблюдаемые релаксационные явления при знакопеременном изгибе (уже после 2-х циклов [2; 3]) холоднокатаной стали в значительной степени обусловлены способностью дислокаций перемещаться на значительно большие расстояния внутри полос, чем в случае полиэдрической дислокационной ячеистой структуры. Оценивая величину пластической деформации (ε) по зависимости [1]

$$\varepsilon = \rho v \ell, \quad (1)$$

где v – вектор Бюргерса; ℓ – длина свободного пробега дислокаций.

Для случая полосовой структуры, которую можно представить как разновидность вытянутых дислокационных ячеек [4], ε должна быть выше, чем для равноосной субструктуры. Даже в случае одинаковой плотности дислокаций имеем

$$\ell_{\text{п}} > \ell_{\text{я}},$$

где $\ell_{\text{п}}$ и $\ell_{\text{я}}$ – длина свободного пробега дислокаций, соответственно для полосовой и равноосной ячеистой структур.

Таким образом, трансформацию дислокационной субструктуры при реверсивном изгибе холоднокатаной стали, происходящую по двум направлениям: совершенствование равноосных ячеек [2; 3] и видоизменения в полосовой

структуре, необходимо рассматривать как процесс возникновения областей, обладающих свойствами разупрочненного металла. Увеличение числа циклов (более 4-х) сопровождается прогрессирующим разупрочнением металла в целом, что связано с ростом объемной доли указанных областей с пониженным уровнем прочностных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972, – 320 с.
2. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003, – 94 с.
3. Вакуленко И. А. Деформирование по схеме изгиб-растяжение холоднокатаных низкоуглеродистых листовых сталей / И. А. Вакуленко, Ю. А. Богачев, В. А. Пирогов // Металлы, – 1991. – № 5, – С. 155–159.
4. Горицкий В. М. Дислокационная структура и особенности строения поверхности изломов образцов железа испытанных на усталость при 77 и 293°K / В. М. Горицкий, В. Ф. Терентьев, Л. Г. Орлов // В кн. Усталость и вязкость разрушения металлов. – М.: Наука, 1974. – С. 148–161.

Поступила в редколлегию 20.10.2005.

В. О. ЗАДОЯ (ДІТ)

ДО ПИТАННЯ АКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

На сучасному етапі реформування залізничного транспорту України пропонується декілька організаційно-правових варіантів. Серед них виділяються три принципово відмінних підходи формування організаційної структури галузі: традиційна ієрархія; багаторівневий холдинг; високо централізована компанія (компанія – єдина юридична особа). Зміну форми власності передбачається реалізувати шляхом створення акціонерного товариства з подальшою приватизацією. Форма державного регулювання не буде містити в собі управління господарською діяльністю і буде спрямована, насамперед, на управління й експлуатацію інфраструктури. Перспектива продажу акцій на ринку неминуча. Виникає питання: як зберегти за собою реальне управління підприємством і залучити інвестиції для розвитку галузі. Запропонований варіант – це один зі шляхів реформування діяльності залізничного транспорту в рамках чинного законодавства й у податковому полі України.

На современном этапе реформирования железнодорожного транспорта Украины предлагается несколько организационно-правовых вариантов. Среди них выделяются три принципиально отличных подхода формирования организационной структуры отрасли: традиционная иерархия; многоуровневый холдинг; высоко централизованная компания (компания – единое юридическое лицо). Изменение формы собственности предполагается реализовать путем создания акционерного общества с последующей приватизацией. Форма государственного регулирования не будет включать в себя управление хозяйственной деятельностью и будет направлена, прежде всего, на управление и эксплуатацию инфраструктуры. Перспектива продажи акций на рынке неминувая. Возникает вопрос: как сохранить за собою реальное управление предприятием и привлечь инвестиции для развития отрасли. Предлагается один из вариантов реформирования деятельности железнодорожного транспорта Украины в рамках действующего законодательства и в налоговом поле страны.

At the present stage of reforming the railway transport of Ukraine there are a few organizational and legal options proposed. Among them there are three essentially different approaches of forming the industry's organizational structure that can be singled out: the traditional hierarchy; a many-level holding; and a highly centralized company (a company – single legal entity). The change of form of ownership is assumed to be realized by establishment of a joint-stock company with subsequent privatization. The form of government control will not include an economic management and will be directed, foremost, to the management and exploitation of infrastructures. The prospect of the stock sale at the market is thus inevitable. A question then arises: how to reserve the real management of enterprise and attract investments for development of the industry. One of the options of reforming the activities of railway transport of Ukraine has been thus proposed within the framework of the effective law and in the taxation scope of the country.

Внаслідок проникнення ринкових механізмів в галузеву економіку, прискорення процесів роздержавлення і появи недержавних структур неминуче постає питання і про виникнення ринку цінних паперів. Поява цінних паперів (фондових активів) як різновиду капіталу на ринку залізничного транспорту об'єктивно й історично відбувається тому, що розвиток галузі, ускладнення комерційної і виробничої діяльності залізниць вимагає залучення все більшого обсягу кредитних ресурсів.

Основна функція ринку цінних паперів, що формується на залізничному транспорті – це мобілізація грошових ресурсів вкладників для цілей організації і розширення виробництва, збільшення обсягів перевезень, підвищення якості послуг і т. д.

Відповідно до Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на се-

редньостроковий період та до 2020 р. на залізничному транспорті передбачається створення акціонерного товариства з подальшою приватизацією (корпоратизація).

Але необхідно відзначити, що рівень регулювання корпоративних відносин в Україні на сьогоднішній день не можна визнати досконалим і ефективним. У той час, як більшість країн СНД прийняли нові Цивільні кодекси і на їх основі створили або значно модифікували спеціальне законодавство про акціонерні товариства, в Україні основу корпоративного законодавства складає Закон України «Про господарські товариства» [1] хоча в цей законодавчий акт вносилися численні зміни, у тому числі і стосовно корпоративного управління, він здебільшого втратив свої регулятивні функції і потребує докорінного перегляду.

У січні 2003 р. Верховна Рада України затвердила Цивільний кодекс України та Господарський кодекс України, але проект Закону України «Про акціонерні товариства» переданий на розгляд до Верховної Ради поки що відкладено.

У цих документах закріплюються основні правові засади створення і діяльності суб'єктів підприємництва як осіб приватного права, а також деталізуються характерні особливості, притаманні саме акціонерним товариствам. У зв'язку з цим стає особливо актуальним вивчення теоретико-прикладних питань акціонування залізничного транспорту.

Методологічні особливості акціонування

З того часу, як було поставлене питання про реформування залізничного транспорту, в періодичній пресі з'явилася безліч публікацій, більшість з яких так чи інакше спрямовані проти кардинальних змін у галузі.

Акціонування залізничного транспорту в нашому суспільстві асоціюється з процесами періоду «розверсточної» приватизації і з наявними зараз негативними її наслідками. Побоювання мають під собою ґрунт, тому що недосконале правове поле приватизації (а також зв'язані з цим випадки неправового переділу власності) автоматично буде перенесено на процес акціонування залізничного транспорту. Хоча на залізничному транспорті, на відміну від інших галузей, в останні роки провадиться обґрунтована і зважена роз'яснювальна робота про необхідність глибоких перетворень галузі.

Однак опір реформам не зменшується. Більшість працівників залізничного транспорту, та й не тільки вони, глибоко переконані, що реформування спрямоване на передачу галузі в приватні руки, тобто на роздержавлення, а акціонування залізничного транспорту ототожнюється з приватизацією.

Що ж являють собою акціонерні товариства і процес акціонування як економічні категорії з погляду акціонування залізничного транспорту в рамках концепції розвитку структурної реформи залізничного транспорту?

Закон України «Про господарські товариства» (стаття 24) трактує акціонерне товариство як організаційно-правову форму: «Акціонерним є товариство, статутний капітал якого поділений на визначену кількість акцій однакової номінальної вартості».

Акціонерне товариство самостійно відповідає за своїми зобов'язаннями усім своїм майном. Акціонери не відповідають за зобов'язаннями товариства і несуть ризик збитків, пов'язаних з діяльністю товариства, у межах вартості акцій, що їм належать.

Акціонери, які не повністю оплатили акції, у випадках, встановлених статутом, відповідають за зобов'язаннями товариства у межах неоплаченої частини вартості належних їм акцій» [1].

Цивільний кодекс України (стаття 152) трактує поняття акціонерного товариства так: «Акціонерне товариство – це господарське товариство, статутний капітал якого поділений на певну кількість акцій рівної номінальної вартості, і яке несе відповідальність за своїми зобов'язаннями всім належним йому майном» [2]. У тому і іншому визначенні основне – це поділ статутного капіталу на визначене число акцій.

Друга складова визначає деякі елементи внутрішніх відносин акціонерного товариства. При цьому в другому визначенні мова йде тільки про ризик збитків, а в першому – про наявність прав учасників в товаристві, тоді як в акціонерному товаристві є безліч категорій, що визначають його діяльність і взаємини всередині товариства. Для більш повного визначення акціонерного товариства розглянемо поняття «виробничі відносини».

Категорія «виробничі відносини» як поняття прийшло в сучасну економічну науку з класичної політичної економії капіталізму, засновниками якої були К. Маркс і Ф. Енгельс. «На виробництві люди вступають у відносини не тільки до природи. Щоб працювати, люди вступають у визначені зв'язки і відносини; і тільки в рамках цих суспільних зв'язків і відносин існує відношення до природи, має місце виробництво» [3]. Поступово сформувалося дуже зручне в методичному аспекті визначення виробничих відносин як «об'єктивно створених відносин між людьми в процесі виробництва, розподілу, обміну і споживання життєвих благ» [4].

Виробничі відносини формують своєрідний критерій для диференціації одного ступеня суспільного розвитку від іншого – у цьому полягає їх важливе методологічне значення. У структурі виробничих відносин звичайно виділяють дві сторони: виробничо-технічну і виробничо-економічну. Перша сторона обумовлена особливостями і потребами технології й організації виробництва. Друга сторона визначається відносинами власності і виражає відносини людей з приводу присвоєння засобів виробництва.

Підсумовуючи вищесказане, можливо зробити висновок: акціонерне товариство зі стовідсотковим пакетом акцій, що знаходиться в державній власності, – це форма виробничих відносин, в основі яких знаходяться процеси делегування повноважень по управлінню цим пакетом в формі довірчого управління, безоплатної передачі чи продажу на ринку.

Акціонування як процес створення акціонерного товариства виявляється в формі:

- організації складового капіталу;
- залучення капіталу;
- способу зміни форми власності;
- організації управління підприємствами,

а також як:

- механізм функціонування корпорацій;
- механізм глобалізації й інтернаціоналізації світової економіки.

Розглянемо ці поняття з погляду акціонування залізничного транспорту в рамках Концепції реформування залізничного транспорту.

Суть складового капіталу полягає в тому, що внески декількох інвесторів поєднуються в єдиний капітал – статутний фонд акціонерного товариства. При цьому власником статутного капіталу стає об'єднання власників. Розмір коштів, вкладених в статутний капітал акціонерного товариства, визначається кількістю акцій, що належать інвестору. Особливість складового капіталу акціонерного товариства полягає в тому, що після утворення статутного фонду вкладник володіє не конкретним майном, а акціями, що є свідченням про вкладення коштів в статутний капітал. При цьому кошти, вкладені в статутний фонд, не можуть бути вилучені, тобто акція не надає право на майно товариства. Таким чином, акціонування являє собою форму об'єднання і збереження всього майнового комплексу акціонерного товариства.

При акціонуванні залізничного транспорту зі стовідсотковим пакетом акцій, що належать державі, використання поняття «складовий капітал» недоречно, тому що весь статутний капітал акціонерного товариства формує держава, будучи при цьому єдиним акціонером. Такий підхід до акціонування суперечить Цивільному кодексу України і Закону України «Про господарські товариства», тому що в цих нормативних актах не міститься поняття акціонерного товариства, що складається з одного акціонера. Тільки Законом України «Про приватизацію державного майна» [5] визначений порядок акціонування і управління акціонерним товариством з 100 % акцій, закріпленими в державній чи муніципальній власності.

Акціонування як форма залучення капіталу істотно відрізняється від інших форм залучення коштів. Кредити банків, вексельні зобов'язання, облігаційні позики як форми залучення капіталу мають три істотні особливості: терміновість, зворотність, платність, тобто позикові кошти повинні бути повернуті в зазначений договором термін (з оплатою за їхнє користування).

Акціонування ж являє собою безповоротне кредитування: куплена акція не може бути повернута акціонерному товариству. Що стосується платності, то ця особливість не гарантована (крім привілейованих акцій), тому що з однієї сторони вона залежить від наявності прибутку, а з іншого боку – від рішення ради директорів. При цьому загальні збори акціонерів можуть погодитися з рішеннями ради директорів щодо встановлення розмірів дивідендів чи зменшити їх.

У випадку закріплення в державній чи муніципальній власності 100 % акцій акціонування як форма залучення капіталу проявитися не може. При цьому можуть бути реалізовані тільки традиційні форми залучення капіталу (особливо, облігаційні позики). Однак і в цьому випадку є деякі обмеження: облігації не можуть бути конвертованими через непорушність стовідсоткового пакета акцій, що належить державі.

Під час акціонування підприємства у разі будь-якого розкладу часток в статутному капіталі змінюється форма власності. При акціонуванні з 100 % пакетом акцій, що належать державі, власність не можна назвати колективною і, тим більше, приватною. Однак вона вже не є державною. В цьому випадку виникає особлива форма власності: акціонерна з одним акціонером в особі держави. Не змінюється форма власності і при передачі пакетів акцій у довірче управління іншим юридичним чи фізичним особам.

Акціонерні товариства на верхніх управлінських рівнях мають відмінну від державних унітарних підприємств організаційну структуру управління: загальні збори акціонерів, рада директорів, правління, ревізійна комісія. При цьому необхідно відзначити, що на середніх і, особливо, на нижніх управлінських рівнях переважають традиційні ієрархічні структури управління.

У зв'язку з акціонуванням з'являються такі поняття: право голосу, контрольний і блокуючий пакети акцій, привілейована акція, «золота акція», консолідація інвесторів, квотування акцій та ін. Ці поняття визначаються однією обставиною – акціонер має право на управління акціонерним товариством. При всій багатозначності цього права воно виявляється лише на загальних зборах акціонерів. Акціонер керує акціонерним товариством тільки в формі затвердження установчих документів і обрання членів ради директорів. Оперативне ж управління реалізує правління – невиборний орган.

Контрольний пакет акцій не можна розглядати тільки як кількісну величину, що перевищує половину, дві третини чи три чверті пакета акцій. При значному розпорошенні акцій ці частки можуть істотно зменшуватися і при деяких обставинах пакет акцій у 15...20 % може стати контрольним.

При 100-відсотковому пакеті акцій, що належать державі, управління акціонерним товариством здійснює призначений державою колегіальний орган – рада директорів. За ним – вироблення і прийняття рішень по найважливіших питаннях діяльності підприємства.

Закріплення контрольного пакета акцій важлива, але не головна задача акціонерного товариства. Більш актуальним є залучення інвестицій, тому що тільки за допомогою їх можна говорити про диверсифікованість діяльності і розширенні ринку. У перспективі продаж акцій на ринку неминуча. Виникає питання: як залучити інвестиції, зберігши за собою реальне управління підприємством. Адже для інвестора кращою гарантією повернення вкладених коштів є наявність контрольного пакета акцій. До цього завжди прагнуть великі інвестори.

Крім добре відомих шляхів – привілейовані акції і «золота акція» – маєтся ще один шлях, спрямований на розмивання ролі акціонерів в управлінні підприємством. Мова йде про створення багаторівневого холдингу з безліччю дрібних інвесторів на першому – нижньому управлінському рівні. Однак пакет акцій дрібних інвесторів, як показала практика перших років роботи акціонерних товариств, постійно скорочується. До того ж є процес консолідації дрібних інвесторів навколо керівників підприємства. Таким чином, уже на початковому етапі реформування, тобто при створенні акціонерного товариства повинна бути розроблена концепція квотування акцій, інакше кажучи, розроблений механізм управління з урахуванням пакетів акцій усіх типів інвесторів.

Якщо припустити, що залізничний транспорт у перспективі буде являти собою багаторівневий холдинг, то можна стверджувати, що державі досить 20...25 % акцій для його управління. Разом з тим, у всіх випадках держава залишає за собою спеціальне право («золота акція») управління залізничним транспортом.

Транспортна система України і, насамперед, залізничний транспорт знаходиться між двома розвинутими регіонами – Європою і Південно-Східною Азією. Бурхливий розвиток економічних зв'язків між цими регіонами, а також устремління їх до ринків колишнього СРСР сприяють, в свою чергу, на розвитку залізничного транспорту України т. я. наявність (відкриття, розвиток) нових ринків в зв'язку з глобалізацією спонукає затребуваність транспортних послуг.

Глобалізація завжди припускає функціональну інтеграцію і посилення внутріфірмової торгівлі, що супроводжується транспортними витратами. Таким чином, в умовах глобалізації різкого скорочення транспортних послуг не передбачається.

Варіанти формування транспортної корпоративної структури

В усім різноманітті пропонованих варіантів реформування залізничного транспорту України можна виділити, принаймні, три принципово відмінних підходи формування організаційної структури галузі: традиційна ієрархія; багаторівневий холдинг; високо централізована компанія (компанія – єдина юридична особа).

Перший варіант формування транспортної корпоративної структури (іншими словами, варіант реформування), що сьогодні розглядається як основний, полягає в наступному. Структура управління залізничним транспортом України в цілому залишається традиційної – багаторівнева гостропірамідальна ієрархія. Суть змін – перерозподіл повноважень «знизу нагору». Структурні підрозділи відділень (дирекцій) залізниць позбавляються права самостійного виходу на ринок і права «фінансового ризику», тобто розрахункового рахунка, і перетворюються у виробничі ділянки (цехи). Відділення (дирекції) залізниць позбавляються права юридичної особи і перетворюються у філії залізниці – державного унітарного підприємства. За такою структурою до складу залізниці як юридичної особи інші юридичні особи не входять.

Запропонований варіант це один зі шляхів діяльності галузі в рамках діючого законодавства й у податковому полі країни (при цьому зникає подвійне оподаткування). Таким чином, на залізничному транспорті застосована дворівнева структура управління: галузевий апарат (включаючи функціональні департаменти) і залізниці (включаючи філії).

Якщо ж розглядати окрему залізницю як соціально-економічну систему, то можна затверджувати, що її організаційна структура складається з двох управлінських рівнів: апарат управління (включаючи функціональні служби) і відділення (дирекції) – філії зі структурними підрозділами. Відбудуться зміни й у розподілі повноважень між міністерством і залізницями на користь першого. Залізниці будуть істотно обмежені в розподілі ними зароблених коштів. А зі створенням галузевого банку дохідні рахунки для залізниць де-факто припинять існування.

Процес централізації повноважень неминуче буде супроводжуватися «безликим опором середовища». Однак цей опір легко перебороти якщо процес розбити на три етапи. На першому етапі позбавляються повноважень структурні підрозділи – апарати управління відділень (дирекцій) і залізниці консолідується.

На другому етапі статус юридичної особи відбирається у відділень (дирекції); при цьому повноваження залізниці якийсь час залишаються без змін.

На третьому етапі потрібно вилучити деякі повноваження й у залізниць.

Чи зміниться після всіх цих перетворень організаційна структура управління галуззю? Однозначно можна стверджувати, що вона стане ще більш централізованою, тому що перерозподіл повноважень відбудеться «знизу нагору», число управлінських рівнів не зміниться, а укрупнення структурних підрозділів призведе до ще більшої пірамідальності. Фінансові потоки будуть спрямовані від джерел їхнього утворення безпосередньо в центральний апарат галузі, а потім, після перерозподілу – на залізниці.

Напевно, можна погодитися, що ці зміни далекі від ринкових перетворень і не є факторами, спрямованими на диверсифікованість доходів галузі.

Другий варіант – багаторівневий холдинг. Серія статей у «Российском экономическом журнале» присвячена корпоративному управлінню і, зокрема, становленню в Росії холдингів, а в [6] наведений варіант реформування залізничного транспорту Росії в формі багаторівневого холдингу.

Основні ідеї створення виробничої структури залізничного транспорту застосовні і до наших умов і задач реформування залізничного транспорту України. Вони полягають в наступному – ключова роль у реформуванні приділяється залізницям як інтегрованим компаніям, що створюють закінчену продукцію – транспортну послугу. «Домогтися посилення мотивації і підвищення відповідальності керівного персоналу, поліпшення взаємодії з регіонами і найбільшими відправниками вантажу можливо тільки при наявності великих регіональних виробничо-господарських суб'єктів», – стверджують автори.

Автори статті відзначають, що найкращий організаційно-правовий статус базових підприємств галузі (залізниць) – великі акціонерні (корпоративні) об'єднання, контрольні пакети акцій яких гарантовано (законодавчо) закріплені за основним товариством – державною корпорацією. Акціоновані залізниці включали б у свій склад (на правах структурних підрозділів (філій) чи дочірніх структур) – відділення, лінійні підприємства й організації відомчої соціальної інфраструктури. Далі в статті відзначається, що у разі прийняття такої схеми начальники залізниць стають повноцінними керівниками великих територіальних транспортних

комплексів, включаючи до складу відповідних органів управління (в один рівень із представниками материнської компанії) представників місцевих адміністрацій і провідних компаній-перевізників, а також отримують права співзасновників вантажних і пасажирських компаній регіонального (місцевого) значення. Центр тяжіння реформи переноситься на рівень провідних підприємств галузі, що забезпечують кінцеві результати її діяльності.

Законодавче регулювання реформаційного процесу в цій ключовій його частині могло б, як відзначають автори, зводитися до чіткої регламентації:

- складу дочірніх підприємств – учасників держкорпорації;
- незмінної (основної) частки власності материнської компанії в їхніх статутних капіталах.

Обумовлюється і припустимий рівень (не більш 25 %) частки капіталу в структурі власності галузевих підприємств.

Головною компанією багаторівневого холдингу автори пропонують саме компанію «Российские железные дороги» (в нашому випадку можливо компанія «Укрзалізниця»), що і буде виконувати функції господарського управління залізничним транспортом. При цьому 75 % акцій компанії «РЖД» повинне жорстко (без перспективи «розмивання» частки) і правозабезпечено належати державі, а інша частина пакета може викуповуватися зацікавленими інституціональними інвесторами і фізичними особами.

Систему внутрішнього господарського управління державної корпорації доцільно базувати на класичних принципах холдингового управління дочірніми структурами. У складі ради директорів повинна функціонувати колегія представників зацікавлених міністерств; роль голови цієї ради в порівнянні з традиційними вітчизняними акціонерними компаніями незначна.

«Таким чином, – відзначається в статті, – раціональна організаційна структура залізничного транспорту подається у вигляді багаторівневого холдингу зі змішаною формою власності, що дозволяє забезпечити пріоритет державних інтересів і реальне залучення сторонніх інвестицій на основі співучасті їхніх суб'єктів в капіталі провідних галузевих підприємств. Материнська компанія холдингу (компанія «РЖД») може бути подана як відкрите акціонерне товариство з основним (75 %) пакетом акцій, що належить державі. Залізниці в даній системі перетворюються в дочірні акціонерні компанії; аналогічна (75 %) частка акцій яких закріплюється за материнською компанією. При цьому

акціоновані залізниці виступають як стратегічні бізнес-одиниці інтегрованої холдингової держкорпорації».

Розглянутий вище варіант реформування залізничного транспорту – це один із самих цікавих і прийнятних для залізничного транспорту України. Він заслуговує на особливу увагу при розробці основної ідеї реструктуризації транспортної галузі. Але цей варіант має і ряд істотних недоліків, деякі з них можуть стати основою неприйняття його як основної ідеї реформування залізничного транспорту України.

Наприклад, питання інвестиційної привабливості галузі. У статті автори пропонують підвищити інвестиційну привабливість галузі за рахунок частки акцій, що можуть бути викинуті на ринок. При цьому пакет звичайних акцій не перевищить 19 %. Пропонується також підвищити інвестиційну привабливість галузі, змінивши регламентацію частки привілейованих акцій (убік підвищення).

Якщо залізничний транспорт розглядати як багаторівневий холдинг, тоді залізниця – це господарюючий суб'єкт, що формує прибуток, свою дивідендну політику і політику випуску цінних паперів (облігацій і векселів). Теж саме цілком відноситься і до нижчих рівнів (якщо це багаторівневий холдинг), і до дочірніх підприємств залізниці. Виникає питання про дивідендну політику в холдингу: вона буде єдиною чи кожне ВАТ, що входить у холдинг, буде формувати свою?

У першому випадку дочірні підприємства позбавляються мотивації формування прибутку, спрямованого на виплату дивідендів: дивіденди будуть завжди, а якщо їх не буде, то я в цьому невинуватий.

У другому випадку акції необхідно випускати по кожному акціонерному товариству, що входить у холдинг. При цьому виникає ситуація, коли акції навантажувальних залізниць будуть високоліквідними, а транзитних залізниць – навпаки (через незначну їхню прибутковість). Сюди ж можна віднести й акції пасажирських компаній.

У чистому вигляді обоє розглянуті пропозиції формування дивідендної політики не можуть бути реалізовані, тому що кожна з них має істотні недоліки.

Вкрай сумнівна пропозиція – розміщення звичайних і привілейованих акцій «по пріоритетному праву і першочерговому наділенню». Через деякий час залізничники-керівники такими вже не будуть, а керівником стане молодий інженер.

Викликає заперечення і відсутність в уряді органа, контролюючого діяльність холдингу, особливо в початковий період. Немає чітких пропозицій і по статусу начальників залізниць. З одного боку, автори стверджують, що ключова роль у реструктуруванні повинна належати залізницям, з другого стверджують, що і керівників залізниць слід представити в органах управління. Усі перераховані вище зауваження цілком переборні і легко можуть бути усунуті і трансформовані до наших умов при розробці проекту реформування залізничного транспорту України.

У підсумовуючих висновках, відзначаються саме ті моменти, що викликають найбільше питань у залізничників: холдинг як варіант організаційної структури залізничного транспорту (особливо, на початкових етапах реформування).

1. В акціонерного товариства (дочірня компанія чи субхолдинг) немає вищестоящого розпорядницького центру (рада директорів – структура АТ). Перевізний процес – основна виробнича функція. На її реалізацію працюють усі структури галузі. Оперативне втручання в організацію цієї функції призводить до оперативного втручання в усі види діяльності дочірніх компаній. А так, як перевізний процес безупинний, то й оперативне втручання буде постійним. Виникає питання: хто буде керувати акціонерним товариством (дочірньою компанією чи субхолдингом) – рада директорів чи вищий керуючий орган? У цьому випадку дочірні компанії де-факто перетворюються у філії.

2. Якщо говорити про залізничну інфраструктуру як єдиний комплекс країни, тоді «закріплення» його частин за власниками, тобто включення в статутний капітал не є можливим. Безумовно, можливе акціонування (а потім і приватизація) малодіяльних ліній, включаючи й інфраструктуру.

3. Особливо суперечливе наступне твердження: «Всі об'єкти інфраструктури, рухомий склад і ремонтні підприємства також можуть бути розподілені по видах власності з урахуванням їх ролі в основній діяльності залізниць». При такому підході збір воєдино і оперативне управління інфраструктурою для організації перевізного процесу буде вкрай проблематично. Тут же стверджується, що найважливіші елементи залізничного господарства (колія, локомотиви, вагони) повинні бути зосереджені в руках одного власника (держави), що зберігає усі важелі єдиного організаційно-технологічного керівництва перевізним процесом. Причому, якщо частка вагонного парку, переданого приватним компані-

ям, може бути значною (і доходити, скажемо, до 30...40 %), то локомотивний парк, що працює на магістральних напрямках, необхідно утримувати в державній власності. У цьому випадку дочірні компанії не будуть наділені основними фондами і не зможуть керувати перевізним процесом, а головне – утримувати інфраструктуру.

Не приводять автори в пропонованому варіанті холдингової компанії і схему фінансових потоків, що, в силу специфіки залізничного транспорту, – одне з визначальних умов формування організаційної структури галузі. На закінчення необхідно відзначити, що запропонований варіант, його основна ідея – холдингова компанія – може бути (за певних умов) використана при реформуванні залізничного транспорту України.

Третій варіант – високоцентралізована компанія (компанія – єдина юридична особа).

Основну ідею реформування залізничного транспорту можна викласти так: зміна форми власності (від державної до акціонерної), а також форми державного регулювання інфраструктури і безпосередньо організації перевізного процесу, перехід від територіально-функціонального управління до функціонально-галузевого і галузевого.

Зміну форми власності передбачається реалізувати шляхом створення акціонерного товариства з наступною приватизацією. Форма державного регулювання не буде містити в собі управління господарською діяльністю і буде спрямована, насамперед, на управління й експлуатацію інфраструктури. По функціонально-галузевому принципу пропонується управляти підрозділами, що обслуговують інфраструктуру і рухомий склад, що належить акціонерному товариству, а по галузевому – іншими структурами, безпосередньо не зв'язаними з перевізним процесом.

Необхідно відзначити ще два важливих моменти, що будуть визначати організаційну структуру галузі: вертикаль в управлінні перевезеннями і формування єдиного господарюючого суб'єкта. Управлінська вертикаль перевізного процесу, що припускає тверду централізацію – (від головного розпорядницького центра ВАТ до станції), – і функціонально-галузевий і галузевий підходи в управлінні іншими видами діяльності, не вписуються в традиційно існуючу в галузі ієрархію: в одному господарюючому суб'єкті, знизу доверху перетинаються дві управлінські ідеології – ієрархія і плоскі структури.

Що стосується створення єдиного господарюючого суб'єкта – єдиної юридичної особи – твердження, що його створення дозволить забезпечити стійкість і керованість системи, зве-

дення до мінімуму ризику, формування і посилення управлінських зв'язків, зведення до мінімуму трансакційних витрат і т. д. не зовсім вірне. Скоріше – такі дії спрямовані лише на рішення цих задач.

Серед вчених і фахівців в області управління (наприклад, [7]) має місце інше твердження: ефективніше працюють ті структури, що наділені великими повноваженнями тому, що в ринкових умовах господарювання, коли з'являється гостра необхідність у диверсифікованості доходів, строгою регламентацією, правилами й інструкціями розширити прибутковість украй важко, оскільки неможливо всю діяльність і, особливо, комерційну задалегідь описати правилами й інструкціями.

При такому підході залізниці перетворюються у філії, а відділення (дирекції) (з декількома тисячами працівників) – у структурні підрозділи (цехи, ділянки). Управлінська вертикаль одного підприємства, однієї юридичної особи (наприклад ВАТ «Укрзалізниця») простирається від президента компанії до начальника депо, станції й ін. При цьому вкрай проблематично вірно розподілити повноваження на ухвалення рішення і щонайкраще забезпечити закріплені за працівником обов'язку його правами.

Альтернативним варіантом формування організаційної структури управління великої корпорації можуть виступати плоскі мережні структури і, зокрема, їхній різновид – планетарні структури управління.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про господарські товариства» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, N 49).
2. Цивільний кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, NN 40-44).
3. Маркс К. Наемный труд и капитал / Маркс К., Энгельс Ф., Соч. 2, изд. – Т. 6. – С. 441.
4. Экономическая энциклопедия / Науч. ред. Совет изд-ва «Экономика»; Ин-т экон. РАН; гл. ред. Л. И. Абалкин. – М.: «Издательство «Экономика», 1999. – С. 530–531.
5. Закон України «Про приватизацію державного майна» (Відомості Верховної Ради України, 1997 р., N 17).
6. Винслав Ю. Котов Г. Реформирование железнодорожного комплекса: вариант создания многоуровневого госхолдинга // Российский экономический журнал. – № 3. – 2001.
7. Виссема Х. Менеджмент в подразделениях фирмы (предпринимательство и координация в децентрализованной компании); Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 1996. – 288 с.

Надійшла до редколегії 25.11.2005.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВАГОННОГО ПАРКУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Запропоновано оцінювання впливу окремих факторів на узагальнюючий показник ефективності роботи залізниці та заходи щодо поліпшення експлуатаційної діяльності.

Предложены оценка влияния отдельных факторов на обобщающий показатель эффективности работы железной дороги и мероприятия для улучшения эксплуатационной деятельности.

The article is devoted to estimation of influence of separate factors on the summarizing index of operational efficiency of railway and suggestion of measures for the improvement of operating activities.

Використання в процесі аналізу виробничо-господарської діяльності підприємств залізничного транспорту класичних методів не завжди дає бажані результати, тому що в сучасних умовах в результаті суттєвого впливу науково-технічного прогресу, значного збільшення обсягу інформації ускладнилися взаємозв'язки та економічні стосунки між окремими підрозділами залізниць, між якісними та кількісними показниками експлуатаційної роботи.

Більше всього ускладнились взаємозв'язки в показниках використання вагонного парку залізниць, за допомогою якого задовольняються потреби користувачів транспортних послуг в перевезенні тисячі найменувань вантажів на всій мережі залізниць і в якому нараховується десятки типів вагонів.

Усі ці обставини стали підставою для застосування більш ефективних сучасних методів оцінки впливу окремих факторів, які засновані на використанні методів математичного моделювання та математичної статистики, на узагальнюючі показники роботи вагонного парку.

З метою відбору найбільш важливих факторів, які впливають на використання вагонного парку залізниць, було застосовано багатофакторний аналіз і методи експертних оцінок, сутність яких полягає в статистичному моделюванні якісних показників використання вагонного парку. Проведений аналіз взаємозв'язку різних показників свідчить про досить складні залежності між ними та пояснює, чому сучасними методами неможливо їх обґрунтувати.

Застосування методу статистичного моделювання для прогнозування узагальнюючих показників використання вагонного парку з використання багатомірної середньої дозволив виявити найбільш важливі фактори в конк-

ретних умовах діяльності залізниць, які суттєво впливають на результати експлуатаційної діяльності підрозділів залізничного транспорту.

У сучасних умовах ускладнення господарських зв'язків, концентрації та спеціалізації виробництва роль транспортного фактору зростає.

У транспортній системі країни на зриму перспективу головну роль і основну долю в перевезеннях вантажів буде виконувати залізничний транспорт як один із надійних видів по забезпеченню транспортних послуг в силу природних умов, розміщення продуктивних сил та можливість освоєння перевезень іншими видами транспорту.

Обсяги роботи залізниць по перевезенню вантажів залежать насамперед від обсягів виробленої продукції і розміщення продуктивних сил. Для перевезення різних вантажів необхідний вагонний парк різних типів, а умови навантаження і вивантаження залежать від багатьох факторів: де виконуються вантажні операції; якими партіями подаються вагони під ці операції; які типи вагонів використовуються та інші технологічні фактори.

Різні вантажі в окремих типах вагонів перевозяться на різні відстані і визначаються середньою дальністю перевезень, що найбільш суттєво позначається на величині якісних показників використання вагонного парку залізниць (оборот, продуктивність, середньодобовий пробіг, повний і навантажений рейс, коефіцієнт порожнього пробігу, динамічне та статистичне навантаження та ін.).

Загальна модель роботи вагонного парку складається з трьох основних складових:

- з вагонами під вантажними операціями;
- з вагонами на технічних станціях;
- з вагонами в потягах та на проміжних станціях.

Така система поділу викликана специфікою та особливістю роботи вантажних вагонів. Групування основних показників використання вантажних вагонів за такими ознаками.

Узагальнюючі показники:

- обороту вантажного вагона;
- продуктивність вагона.

Вихідні показники:

- середньодобовий пробіг;
- повний рейс;
- навантажений рейс;
- коефіцієнт порожнього пробігу;
- динамічне навантаження на вагон;
- статичне навантаження на вагон.

Для забезпечення транспортними послугами їх користувачів на перспективний період необхідно знати, скільки і яких типів вагонів потрібно мати в експлуатації. Звідси дуже важливе значення має прогнозування показників використання вагонного парку, а також кількість вантажних вагонів за типами.

У загальному вигляді кількість вантажних вагонів (парк вагонів) за типами, які необхідні для перевезень різних вантажів, визначається за формулою

$$n = U \cdot O_v,$$

де U – робота вагонів (кількість щодобового навантаження вантажних вагонів у фізичних одиницях); O_v – оборот вагона в добах.

Робота мережі залізниць визначається і залежить від кількості вантажів у тоннах, які заявляються до перевезень P_v , та середньозваженого статистичного навантаження і визначається за формулою

$$U = \frac{P_v}{P_{ст}}.$$

Статистичне навантаження – це похідна від структури вантажообороту і вагонного парку, яка залежить від співвідношення між різною питомою вагою чи обсягами вантажних вагонів за типами і визначається за формулою

$$P_{ст} = \frac{\sum P_l}{\sum U}.$$

Величина статистичного навантаження залежить від співвідношення в заявлених до перевезень вантажів визначається за формулою

$$P_{ст}^c = \frac{1}{\frac{\alpha_1}{P_1} + \frac{\alpha_2}{P_2} + \dots + \frac{\alpha_n}{P_n}},$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – доля визначеної групи вантажів у загальному вантажообороті; P_1, P_2, \dots, P_n – відповідні статистичні навантаження вище наведених вантажів.

Для прогнозування цього показника необхідно вивчити тенденцію вантажообороту, який освоюється даним типом вагонів (які вантажі можна перевозити у визначених типах вагонів виходячи з різних умов їх застосування – фізичних, технологічних, економічних та ін.).

Аналіз обороту вагона за його складовими. Простий під вантажними операціями. Навантаження вантажних вагонів здійснюють десятки тисяч підприємств, які мають різні озброєність і умови для виконання вантажних операцій. Крім того частина вагонів попадають під подвійні операції, тривалість яких для різних типів вагонів набагато відрізняється від середньої величини.

Кількість вагонів окремих типів, що проходять подвійну операцію, залежить від спеціалізації вагонів та організації перевізного процесу, регулювання вагонним парком, черговості їх подачі на навантажувально-розвантажувальні фронти, нерівномірність їх подачі, пов'язаної з неритмічною роботою мережі та інших факторів.

На технічних станціях переробляється частина транзитних вагонів, інша – пропускається через станцію без переробки зі зміною локомотива чи локомотивних бригад залежно від складеного плану формування.

Кількість перероблених вагонів на технічних станціях залежить від організації вагонопотоків і якості плану формування вантажних потягів, а також встановлення техніко-економічних показників, які є похідними від перших факторів.

Аналіз експлуатаційної роботи показує, що найбільші простой на технічних станціях мають криті вагони і платформи, які перевозять вантажі з найменшою дальністю перевезень.

Знаходження вагонів в русі і на проміжних станціях залежить від середньої відстані перевезень та дільничної швидкості руху потягів. Якщо середня відстань в основному залежить від якості планування перевезень, спеціалізації, концентрації виробництва, системи транспортно-економічних зв'язків та організації матеріально-технічного постачання, то дільнична швидкість – виключно від якості роботи залізниць.

Величина цієї швидкості залежить в першу чергу від технічної швидкості, яка залежить від того, якими видами тяги та типами локомотивів і на яких ділянках (одно, дво чи багатоколіїних) виконуються перевезення, та системи організації руху потягів на цих ділянках, наявність на них пасажиропотоків та інших факторів.

Вищенаведений аналіз показує, що оборот вантажного вагона залежить від багатьох факторів як залежних, так і незалежних від діяльності залізничного транспорту, тому цю проблему необхідно розглядати з загальнодержавних позицій.

Моделювання роботи вагонного парку і показників його використання можна подати у вигляді

$$O_b = t_{bo} + t_{tc} + t_{px},$$

де t_{bo} – час простою вагонів під вантажними операціями; t_{tc} – час простою вагонів на технічних станціях; t_{px} – затрата часу в добі (год) вагонів у русі і простою на проміжних станціях у потягах;

$$t_{bo} = t_{nk} + t_{ct},$$

де t_{nk} – середній час, який витрачається на операції завантаження і вивантаження з вагону в розрахунку на одну операцію, год; t_{ct} – середній час простою вагонів на станціях навантаження і вивантаження вантажів під технічними операціями і в очікуванні їх проведення.

Чисельні значення встановлюються на основі вибіркового даних, різних нормативів на виконання вантажних операцій, оскільки звітні дані за цими показниками відсутні.

Вибіркові дослідження показують, що середній рівень показника t_{nk} безпосередньо залежить від структури перевезених вантажів, а також від структури вагонного парку і визначається за формулою

$$t_{nk}^{ij} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=n}^m t_{nk}^{ij} \cdot \Delta_{ij},$$

де t_{nk}^{ij} – затрати часу на одну вантажну операцію для i -го типу вагона при перевезенні в ньому i -ї групи вантажу; Δ_{ij} – доля i -ї групи вантажів, які перевозяться в i -му типі вагонів в загальному обсязі навантаження на мережі залізниць за звітний період.

Значення показника t_{ct} можна вважати постійною величиною для всіх вагонів і вантажів, оскільки операції, які пов'язані з маневровою роботою, оформленням документів та очікуванням виконання вантажних операцій і відправлення, може бути визначено за формулою

$$t_{ct} = \sum_{i=1}^n t_{ct}^i \Delta_i.$$

Як показують дослідження, до 70 % числового значення часу знаходження вагонів під вантажними операціями складає t_{ct} .

Проведені розрахунки значень середнього часу простою вагонів під однією вантажною операцією для всіх типів вагонів складає 30 год; з них – критих і ізотермічних – біля 50, платформ – 34, піввагонів – 26, цистерн – 20, інших типів – 15.

Для розрахунків, які пов'язані із знаходженням вагонів під подвійними операціями, використовують коефіцієнт місцевої роботи, величина якого показує, скільки вантажних операцій виконується за один оборот вагона, в останній час має тенденцію до зростання і K_m розраховується за формулою

$$K_m = \frac{n_o}{U},$$

де n_o – кількість вантажних операцій; U – кількість оборотів вагона (робота залізниці у вагонах).

Час простою вагонів на технічних станціях на один оборот (\bar{t}_{tc}) визначається за формулою

$$\bar{t}_{tc} = \frac{l_c}{L_b} t_{tc},$$

де \bar{t}_{tc} – середньозважений час простою вагона на технічній станції; l_c – середня відстань перевезень вантажів в кілометрах; L_b – середнє вагонне плече – відстань в кілометрах між сортувальними станціями, на яких вагон попадає в переробку.

Відношення $\frac{l_c}{L_b}$ показує, скільки технічних станцій проходить вагон за час обороту з переробкою.

Затрата часу вагона на один оборот в русі та простої в потягах на проміжних станціях t_{px} визначається за формулою

$$t_{px} = \frac{l_c}{V_g},$$

де V_g – середньозважена дільнична швидкість руху вантажних потягів, яка враховує час в русі та у простої в потягах на проміжних станціях.

Важливим показником, від якого залежить величина обороту вагона, є коефіцієнт порожнього пробігу вагона (α). Його величина пов'язана зі структурою парку вантажних вагонів, територіальним розміщенням вантажодіючих галузей і характером транспортно-економічних зв'язків, розподілом перевезень

між окремими видами транспорту, наявністю спеціалізованого рухомого складу, що безпосередньо впливає на співвідношення вантажо- і вагонопотоків за напрямками.

Величина середньо-мережного коефіцієнта порожнього пробігу (α) визначається за формулою

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta_i,$$

де α_i – величина порожнього пробігу i -го типу вагона; Δ_i – доля i -го типу вагонів в сумарному пробігові вантажних вагонів за звітний період.

Узагальнюючим показником використання вагонного парку залізниць є продуктивність вантажного вагона – робота, яка виконана одним вагоном робочого парку за добу в тонно-кілометрах нетто. За допомогою цього показника може бути розрахований робочий парк для виконання необхідного обсягу перевезень. Продуктивність вантажного вагона залежить від всіх наведених вище факторів та показників, які об'єднуються в декілька узагальнюючих. До них відносяться динамічне навантаження на один вагон робочого парку (q_b), середньодобовий пробіг (S_b) і коефіцієнт порожнього пробігу вагонів (α), взаємозв'язок між якими показано у формулах

$$W_b = \frac{q_b - S_b}{1 + \alpha} = q_p S_b,$$

де

$$q_p = \frac{q_b}{1 + \alpha}.$$

Динамічне навантаження на один завантажений вагон залежить від тих же факторів, що і статистичне навантаження (P_{ct}) (роду вантажу і типу вагона) та від співвідношення середньої відстані перевезень важко- і легковагових вантажів, яке наглядно пояснюється за допомогою формули

$$q_b = \frac{\sum Pl_n}{\sum nS_b},$$

де $\sum Pl_n$ – вантажооборот залізниці в т·км нетто; $\sum nS_b$ – пробіг навантажених вагонів, якими виконаний цей обсяг перевезень.

Як виходить з формули, при збільшенні відстані перевезень важковагових вантажів чисельник буде зростати, а знаменник зменшуватися і, навпаки, – при збільшенні перевезень легковагових вантажів знаменник буде зростати,

а чисельник – зменшуватися, що і необхідно було довести.

Через величину вантажообороту та продуктивність вагона його парк визначається за формулою

$$n = \frac{\sum Pl_n}{W_b t},$$

де $W_b t$ – період часу, за який прийнято виконаний вантажооборот.

Оскільки продуктивність вантажного вагона залежить від всіх проаналізованих показників, є необхідність з метою аналізу використання вагонного парку та прогнозу його необхідності за окремими типами скласти модель факторного аналізу, попередньо згрупувавши окремі показники в узагальнюючі, і за допомогою рівняння регресії встановити силу впливу окремих факторів на узагальнюючий.

Система групування показників використання вагонного парку за узагальнюючими факторами наводиться нижче.

Аналіз взаємозв'язків окремих показників і факторів дозволив вибрати узагальнюючі фактори за визначеними чинниками. До них відносяться: А – показники використання вантажопідйомності вагонного парку; В – показники використання вантажних вагонів в часі; С – показники допоміжної роботи вантажних вагонів.

В узагальнюючий фактор А входять: P_{ct} – статичне навантаження на вагон, т; q_b – динамічне навантаження на один завантажений вагон, т; α – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

В узагальнюючий фактор В входять: t_{bo} – простій вагонів під вантажними операціями; t_{tc} – простій вагонів на технічних станціях; t_{px} – знаходження вагонів у русі і на проміжних станціях.

В узагальнюючий фактор С входять: α – коефіцієнт порожнього пробігу; t_o – простій вагонів в очікуванні виконання вантажних операцій чи відправлення; S_b – середньодобовий пробіг вантажних вагонів.

Використання наведеної моделі дозволяє оцінити вплив окремих факторів на узагальнюючий показник ефективності роботи залізниці і запропонувати заходи щодо покращення експлуатаційної діяльності. Побудована модель за трьома узагальнюючими факторами і 8-ми показниками використання вагонного парку дає можливість одержати регресивне рівняння залежності продуктивності вантажного вагона від узагальнюючих факторів А, В, С типу

$$Y = K1 + K2 \cdot A + K3 \cdot B + K4 \cdot C.$$

З цього рівняння витікає, що параметри вільного члена та коефіцієнтів при узагальнюючих факторах показують, як впливають на продуктивність вантажного вагона невраховані фактори (K1), показники використання вантажності і місткістю вагонів (K2), показники простою вагонів під технологічними операціями (K3) і використання вагонів у русі (K4).

Для відбору найбільш важливих факторів, які впливають на використання рухомого складу, застосовується багатофакторний аналіз і метод експертних оцінок. Сутність вказаних методів полягає в статистичному моделюванні якісних показників використання рухомого складу. Проведений аналіз взаємозв'язків різних показників свідчить про дуже складні взаємозв'язки між ними, пояснити які існуючими методами дуже проблематично.

Застосування методу статистичного моделювання в прогнозуванні узагальнюючих показників використання вагонного парку на основі багатомірної середньої дозволило виявити найбільш важливі фактори в конкурентних умовах роботи залізниці, які суттєво впливають на результати експлуатаційної діяльності підрозділів залізниці.

Модель факторного аналізу має такий вигляд: всі показники використання вантажних вагонів об'єднані в окремі групи за характером і умовами використання вагонів.

До першої групи відносяться показники використання вантажних вагонів за вантажопідйомністю і місткістю (статистичне і динамічне навантаження і ступінь використання вантажопідйомності вагонів).

До другої групи відносяться показники використання вантажних вагонів на станціях (під вантажними операціями на технічних і проміжних станціях).

До третьої групи відносяться показники використання вантажних вагонів в русі (середньодобовий пробіг, коефіцієнт порожнього пробігу).

Для побудови моделі впливу узагальнених факторів на досліджуваний показник продуктивності вагона використовується запропонована д-ром екон. наук, проф. П. М. Рабиновичем ідея багатомірної групування. Для цього по всіх підрозділах залізниці розраховуються середні значення відношень P_i , яке характеризує даний елемент за деякою групою ознак і визначається як багатомірна середня. У даному випадку вибір групи ознак встановлено на основі технології роботи і місця в ній вагонів вантажного парку.

Використання середньої може бути подано в якості узагальнюючого оціночного показника використання рухомого складу за окремими операціями перевізного процесу. Багатомірна середня характеризує елемент сукупності по ряду ознак в той час, як звичайна середня характеризує сукупність за однією ознакою.

Групуються елементи статистичної множини за величиною P_{ij} , проводиться багатомірне групування і виявляється взаємозв'язок між комплексом прийнятих в розрахунок факторів і результативними ознаками.

Оскільки результативна ознака виражається не в абсолютних цифрах, а відносною величиною $\left(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right)$, то з'являється можливість використати для аналізу комплекс результативних ознак за допомогою усереднення укрупненого показника і модифікувати систему кореляційного аналізу.

Шляхом алгебраїчних перетворень з використанням коефіцієнтів рівнянь, які знаходяться за системою нормальних рівнянь, одержані всі коефіцієнти рівняння регресії, за допомогою яких оцінюється вплив різних укрупнених факторів, що аналізуються.

Загальна система багатофакторної моделі включає виявлення суттєвих факторів, які впливають на дане явище і обсяги вихідної інформації; встановлення причинного зв'язку між результативними і факторними ознаками; аналіз динаміки результативної ознаки і факторів, під дією яких вона змінюється (виявлення тенденцій і факторів їх розвитку, встановлення термінів дії факторів); визначення ступеня впливу факторів на результативну ознаку; складання багатофакторного прогнозу – рівняння регресії.

Для вибору моделі взаємозв'язку і багатофакторного прогнозування необхідно вирішити питання, які пов'язані з встановленням проблеми – мети кореляційно-регресивного аналізу; проблему об'єкту – однорідний, неоднорідний, просторовий, часовий та ін.; проблему часу – за який період необхідні дані (місяць, квартал, рік); проблему застосування того чи іншого методу; проблему вибору форми зв'язку; проблему відбору суттєвих факторів; проблему оцінки параметрів рівняння; проблему адаптації, вияснення, на скільки рівняння задовольняє дійсну модель; проблему судження за поведом одержаного результату (економічна інтеграція); проблему вводу нових факторів і виводу застарілих з моделі.

Статистична сукупність складається з п'яти структурних підрозділів і восьми суттєвих ознак – якісними показниками використання вантажних вагонів по кожній структурній одиниці. За кожним показником знаходиться середнє арифметичне значення ознаки:

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_{2j}}{N} ; \bar{X}_2 = \frac{\sum X_{2j}}{N} ;$$

$$\bar{X}_3 = \frac{\sum X_{3j}}{N} ; \dots \bar{X}_8 = \frac{\sum X_{8j}}{N} ,$$

а для кожної одиниці сукупності – відношення

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\bar{X}_i} ,$$

де j – порядковий номер одиниці статистичної безлічі (порядковий номер структурного підрозділу залізниці); i – порядковий номер показника.

Одержані відношення будуть характеризувати місце і значення кожного елемента в сукупності.

У результаті розрахунків за вищенаведеною формулою одержимо матрицю, яка складається з відношень, що характеризують кожну структурну одиницю залізниці за сукупністю показників (таблиця).

Таким чином, сума восьми індивідуальних індексів для кожного структурного підрозділу визначає його місце серед інших підприємств, тобто за даним методом розраховується рейтингова оцінка за результатами експлуатаційної діяльності, що характеризує рівень виконання якісних показників.

Рейтингова оцінка підрозділів залізниці за виконаними якісними показниками

Структурні підрозділи залізниці	Індивідуальні індекси (відношення) за факторними ознаками (X)					Сума значень P_{ij}
	X_1	X_2	X_3	...	X_8	
1	P_{11}	P_{21}	P_{31}	...	P_{81}	
2	P_{12}	P_{22}	P_{32}	...	P_{82}	
3	P_{13}	P_{23}	P_{33}	...	P_{83}	
4	P_{14}	P_{24}	P_{34}	...	P_{84}	
5	P_{15}	P_{25}	P_{35}	...	P_{85}	

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мішечкін В. Г. Інформаційне забезпечення управління експлуатаційною роботою залізниць України та основні напрямки його удосконалення / В. Г. Мішечкін, О. В. Юрченко, В. І. Пасічник, О. А. Шпак // Вісник УНУ ім. Даля. – 2003. – № 9 (67). – С. 151–156.
2. Эйтулис Г. Д. Справочник по экономической оценке эксплуатационной деятельности железных дорог Украины / Г. Д. Эйтулис, В. И. Пасечник. – К. – 1997. – 44 с.
3. Романко В. І. Статистика залізничного транспорту: Збірник задач. ДПТ / В. І. Романко, В. І. Пасічник, О. Н. Задорожна, С. І. Швець. – Д., 2002. – 135 с.
4. Пасічник В. І. Теоретичні основи економіки експлуатаційної діяльності залізниць. – К.: Науковий світ, 2003. – 222 с.

Надійшла до редколегії 08.09.2005.

Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДІТ)

РІЗНОВИДИ КОМПАНІЙ-ОПЕРАТОРІВ З ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Розглянуто можливі різновиди вантажних компаній-операторів за наданою класифікацією.

Рассмотрены возможные разновидности грузовых компаний-операторов на основе предлагаемой классификации.

Possible variations of freight operation companies have been examined on the basis of the proposed classification.

Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) України на середньостроковий період та до 2020 р. висвітлила проблеми, що стримують забезпечення зростаючого за обсягами та якістю попиту на транспортні послуги і визначила шляхи розв'язання проблем подальшого розвитку транспортної галузі в умовах активізації процесів інтеграції ТДК України до європейської та світової транспортних систем. До цих шляхів можна віднести вдосконалення системи управління галуззю, розмежування функцій державного і господарського управління, реформування форм власності і розвитку конкурентного середовища на ринку транспортних послуг, лібералізацію у сфері ціноутворення.

Проект програми реформування залізничної галузі також передбачає 12 дій, що мають за мету поетапне реформування залізничної галузі до 2009 р.

Проведення досліджень побудови раціональної моделі управління вантажними перевезеннями передбачає застосування елементів стратегічного планування, тобто дій і рішень, за допомогою яких може бути побудована раціональна модель структури управління вантажними перевезеннями на залізницях України.

Виконати управлінське обстеження появи вірогідних компаній-операторів з вантажних перевезень та надати їх класифікацію за певними ознаками.

Узагальнюючи досвід роботи вантажних операторських компаній Європи і світу та враховуючи досвід роботи власних новостворених залізничних підприємств і структуру вантажних перевезень, можна передбачити появу різних компаній-операторів.

Операторські компанії в сегменті спеціалізованих технологічних перевезень – виконують перевезення між вантажовідправниками та вантажоодержувачами, взаємозв'язки між якими

регулюються їх технологічною взаємодією, тобто між підприємствами існує жорсткий технологічний зв'язок, коли кінцевий продукт одного підприємства є первинною сировиною для іншого підприємства.

Перевезення здійснюються маршрутними відправленнями за установленими часовими інтервалами, які регламентуються в год. Технологічний оператор повинен виконувати послугу своєчасно, регулярно, ритмічно, тому що виробництво зорієнтовано на певний час надходження сировини. У разі дострокового надходження вантажу у споживача виникають витрати по його складуванню або створенню «складів на колесах».

У випадку затримки у доставці виникає необхідність використання складських (резервних) запасів. Якщо затримка перебільшує певний критичний рівень, то може зупинитись виробництво.

В умовах існуючої нерівномірності виробництва у вантажовідправників, взаємодія інфраструктури залізниць із технологічним оператором практично забезпечує вимогу регулярності (ритмічності) для вантажоодержувачів.

Оператори технологічних перевезень охоплюють перевезення вантажів, що включають кам'яне вугілля, руду, кокс, чорні метали та руду чорних металів, нафтопродукти і складають за даними ІКТП-Центру понад 60 % від загального обсягу перевезень.

Операторські компанії в сегменті загальномережних перевезень – виконують перевезення між вантажовідправниками та вантажоодержувачами, взаємозв'язки між якими є несталими, технологічна зумовленість між якими відсутня та виникають між необмеженою кількістю користувачів транспортних послуг, географічно розташованих по всій мережі залізниць країни. Перевезення таких вантажів, у кінцевій вартості яких транспортна складова незначна, як прави-

ло, не потребують маршрутних відправлень, використовують універсальний рухомий склад. До них віднесені лісові вантажі, хімічні добрива, зерно та продукти перемолу, брухт чорних металів, інші вантажі, за технологічним фактором – будівельні матеріали, у тому числі, цемент.

Урахування конкретних умов перевезень та особливостей клієнтури не покладає ніяких специфічних обмежень на кількість операторських компаній, що буде створювати умови для розвитку здорової конкуренції між ними із сприятливими наслідками для споживачів послуг. Оператори загальномережних перевезень охоплюють перевезення вантажів, що в загальному обсязі перевезень складають біля 40 %.

Операторські компанії в сегменті контейнерних перевезень. Такою компанією на цей час є Український державний центр транспортного сервісу «Ліскі» (УДЦТС) – одне з потужних транспортних підприємств країни. Центр як структурний підрозділ Укрзалізниці є розпорядником всього парку контейнерів залізниць України, а це біля 40 тис. великовагових (20 і 40 футових) контейнерів та понад 20 тис. середньотоннажних контейнерів. УДЦТС «Ліскі» надає повний спектр послуг, пов'язаних з перевезеннями вантажів в контейнерах та пропонує

сучасний зручний і економічний спосіб доставки вантажів у великовагових автомобілях, які перевозяться на спеціалізованих залізничних платформах, так звані контрейлерні або інтермодальні перевезення. Такі перевезення втілюють в життя найбільш привабливий на ринку транспортних послуг принцип доставки вантажів «від дверей до дверей».

Для надання послуги з інтермодальних перевезень на постійній основі і максимально ефективно організації перевізного процесу Центром, разом із закордонними партнерами експлуатуються два регулярних контрейлерних поїзди: «Вікінг», сполученням Іллічівськ–Клайпеда (Литва) і «Ярослав» сполученням Київ–Славкув (Польща). Можна зауважити, що поїзди виконують перевезення у змішаному залізнично-морському сполученні та у міжнародному сполученні за географією перевезень.

Користуючись матеріалами [3] по структурі вантажних перевезень залізничним транспортом України у 1995–2000 рр., що надана в таблиці за укрупненою номенклатурою, на рисунку побудована діаграма, що ілюструє відповідно перевезення вантажів у секторі технологічних перевезень, загальномережних і контейнерних.

Таблиця

Структура загальних і внутрішніх вантажних перевезень залізничним транспортом України в 1995–2000 рр., млн т

Показник	1995 р.		1996 р.		1997 р.	
	Всього	У т. ч. у внутрішньому сполученні	Всього	У т. ч. у внутрішньому сполученні	Всього	У т. ч. у внутрішньому сполученні
Всього вантажів	383,5	267,8	342,6	224,0	341,4	223,9
у тому числі:						
кам'яне вугілля	111,7	95,8	94,7	74,5	93,0	78,0
нафтовантажі	26,1	19,9	23,2	15,8	23,9	15,1
руда різна	56,9	27,2	55,9	28,8	59,5	32,5
з неї залізна та марганцева	53,6	25,3	52,5	26,8	56,4	30,8
чорні метали	24,9	10,7	28,5	9,1	30,4	8,0
лісові вантажі	4,0	1,5	3,4	1,5	2,7	1,6
хімічні добрива	6,6	2,8	9,9	2,4	11,3	2,9
зерно та продукти перемолу	14,5	8,6	13,0	8,4	8,5	6,0
кокс	8,4	7,3	7,7	7,1	7,6	6,9
будівельні матеріали	76,5	69,1	52,5	48,7	50,1	46,9
у т. ч. цемент	5,9	5,4	3,9	3,4	4,0	3,6
брухт чорних металів	4,3	4,1	4,5	3,6	5,8	3,9
інші вантажі	49,5	27,0	49,2	25,6	48,9	23,1

**Структура загальних і внутрішніх вантажних перевезень залізничним транспортом України
в 1995–2000 рр., млн т**

Показник	1998 р.		1999 р.		2000 р.	
	Всього	У т. ч. у внутрішньому сполученні	Всього	У т. ч. у внутрішньому сполученні	Всього	У т. ч. у внутрішньому сполученні
Всього вантажів	334,98	215,08	334,5	216,9	357,3	218,9
у тому числі:						
кам'яне вугілля	91,84	76,38	91,8	80,8	98,1	81,9
нафтовантажі	23,46	13,22	24,8	10,2	27,0	9,8
руда різна	58,52	29,58	56,5	32,5	65,3	32,2
з неї залізна та марганцева	—	—	—	—	—	—
чорні метали	31,01	8,06	33,3	6,3	35,6	6,3
лісові вантажі	2,66	1,36	3,05	1,4	3,2	1,4
хімічні добрива	8,63	1,35	10,2	1,6	9,7	1,0
зерно та продукти перемолю	9,06	3,53	9,4	2,5	6,2	3,0
кокс	8,73	8,08	9,2	8,4	11,1	9,9
будівельні матеріали	52,08	43,41	49,4	43,4	46,5	38,5
у т. ч. цемент	4,08	3,75	4,5	4,0	4,2	3,3
брухт чорних металів	—	—	—	—	9,1	5,6
інші вантажі	49,00	30,63	46,85	29,8	45,5	29,3

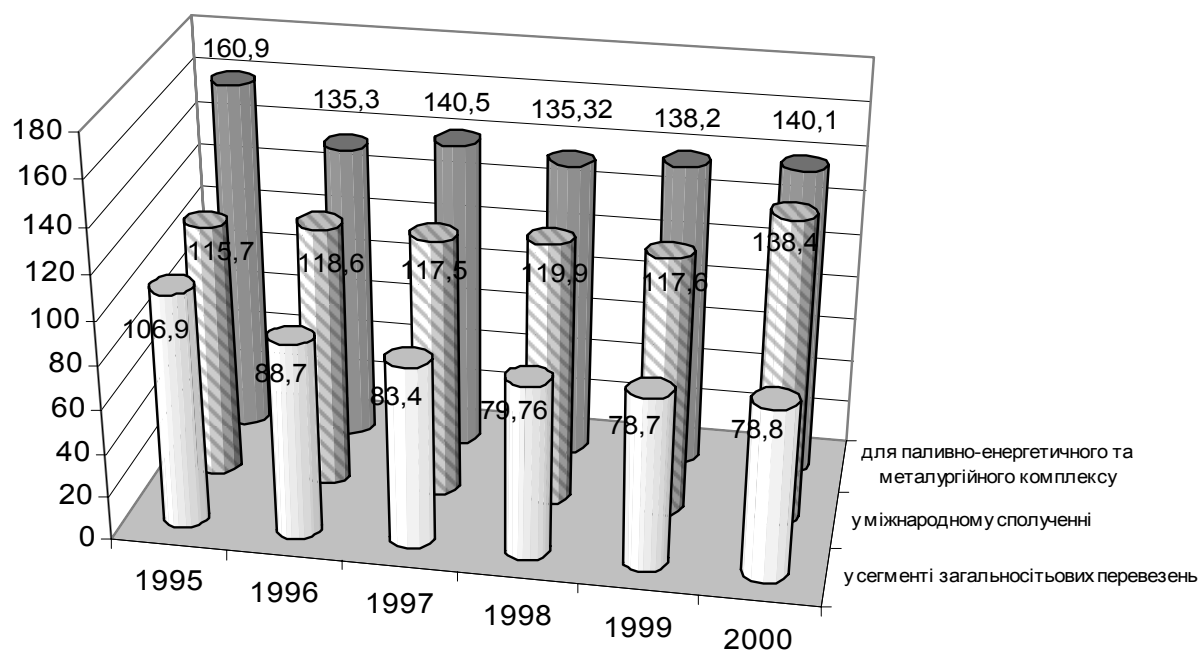


Рис. Діаграма перевезень вантажів по секторах ринку транспортних послуг

Необхідно також приділити увагу діючим транспортно-експедиційним підприємствам, функціонування яких регламентовано правилами здійснення транспортно-експедиційної діяльності під час перевезення експортно-імпорتنних і транзитних вантажів [3].

Принципова різниця із операторською компанією полягає у різному відношенні до рухомого складу, яким експедиторська компанія не володіє. З цього, в свою чергу, випливає ще одна відмінність – участь у плануванні перевезень. Експедитор бере участь у плануванні пе-

ревежень тільки у випадку, коли він є вантажо-відправником і тільки в порядку, передбаченому «Правилами планування вантажів», затвердженими наказом Мінтрансу № 873, від 09.12.2002 р. із змінами та додатками. У середньостатистичній експедиторській компанії відсутня необхідність мати спеціальну диспетчерську службу.

Навіть за її наявністю диспетчери-експедитори не працюють цілодобово і займаються лише комерційним аспектом перевезень вантажу, а саме:

- організація перевезень і перевалка вантажів залізничним, морським, річковим, автомобільним та авіаційним транспортом;
- забезпечення оптимального транспортного обслуговування, а також організація перевезень зовнішньоторговельних вантажів різними видами транспорту по територіям закордонних держав згідно з умовами контрактів;
- фрахт національних і закордонних судів та забезпечення їх подачі в порти для своєчасного відправлення вантажів;
- оформлення документів згідно з митними, карантинними та санітарними вимогами;
- страхування вантажів;
- організація експертизи вантажів в портах і на залізничних станціях;
- здійснення оформлення товарно-транспортної документації та її розсилка;
- подання у встановленому порядку транспортним підприємствам заявки на відправлення експортних, транзитних та реекспортних вантажів і наряди на відвантаження імпорتنних, транзитних і знятих з експорту вантажів;
- складання обмірних ескізів на негабаритні та занадто важкі вантажі.

За наявністю рухомого складу експедиторська компанія може трансформуватися в операторську.

За умовами участі в перевезеннях декількох видів транспорту в будь-якому поєднанні – усі перелічені операторські компанії можна віднести до інтегрованих компаній. По відношенню до рухомого складу будь-яка операторська компанія на початку структурної реформи може бути державною або, з часом, приватною.

Висновки

На підставі викладеного можна зробити висновки, що процес організації і функціонування

операторських компаній гальмує відсутність нормативно-правового забезпечення, а саме, закону про структурну реформу залізничного сектору в Україні та корпоратизацію Державної адміністрації залізничного транспорту (Укрзалізниця). За наявності законодавчих актів можна передбачити, що на «спеціалізацію» операторських компаній буде впливати характер взаємозв'язків між вантажо-відправниками та вантажо-одержувачами, які можна класифікувати за такими чинниками.

- за видами відправок: вагонні, групові, маршрутні;
- за часовими ознаками: епізодичні, регулярні у певний період, постійні;
- за видами сполучень: місцеве, внутрішньо-державне, міждержавне;
- за видами рухомого складу: універсальний рухомий склад, спеціалізований рухомий склад;
- за видами транспорту: сухопутний, водний, авіаційний або їх поєднання в будь-якій комбінації.

- за формами власності: державні, приватні.

Основною перевагою операторських компаній є можливість створення «архітектури перевезень», тобто оптимальних схем транспортування вантажу в будь-якому поєднанні за вищевказаними факторами, комплексність і конструктивність рішень, гнучкість і творчий підхід, якість транспортно-логістичного сервісу.

Слабким місцем на початку структурної реформи можуть бути недоліки, що визвані, в першу чергу, застарілістю матеріально-технічної бази інфраструктури і рухомого складу.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мескон М. Х. Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури; Пер. с англ. – М.: Дело, 1992. – 702 с.
2. Проект Державної науково-технічної програми: Розвиток рейкового рухомого складу залізниць України. Держ. реєстр. номер 0101U002586. Шифр 12.01/НДЧ-47/01-897.01-ЦТех. – К., 2004.
3. Постанова Кабінету Міністрів України № 770 від 21 вересня 1993 р. «Правила здійснення транспортно-експедиційної діяльності під час перевезення експортно-імпорتنних і транзитних вантажів».

Надійшла до редколегії 29.11.2005.

Л. А. ШИЛО, В. П. КОСТІВ (ДІПТ)

ДОСВІД МЕДИЧНОГО СТРАХУВАННЯ В ГАЛУЗЯХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Запропоновано Програму медичного страхування, яке робить перший крок у реформуванні системи фінансування охорони здоров'я на залізничному транспорті України.

Предложена Программа медицинского страхования, которое делает первый шаг в реформировании системы финансирования здравоохранения на железнодорожном транспорте Украины.

A health insurance program has been proposed. The mentioned program is the first step in reforming the health care system financing on the railway transport of Ukraine.

Деякі елементи страхування були відомі ще за тисячі років до нашої ери. Ці елементи страхування поширювалися по всій землі. Ще в ті часи люди дійшли до висновку про доцільність страхування не лише в разі перевезення вантажів, а й у багатьох сферах свого життя та діяльності. Сучасний страховий ринок України створювався на початку 90-х років. Разом із новими українськими компаніями на ринок приходять іноземні страховики. Декретом Кабінета Міністрів України «Про страхування» та Законом України «Про страхування» було закладено основи регулювання ринку страхових послуг та нагляду за діяльністю страхових компаній.

Незважаючи на позитивні зрушення, що відбулися в галузі страхування з початку її створення, існує багато проблем, що заважають її нормальному функціонуванню та розвитку. Серед головних можна виділити:

- відсутність кодексу про страхову діяльність; наявність великої кількості вимог та бар'єрів, що обмежують конкуренцію на ринку;
- низький рівень капіталізації підприємств;
- недостатній розвиток брокерських послуг на ринку;
- низька довіра суспільства до страхових компаній;
- проблеми, які існують в українській економіці в цілому і впливають, зокрема, і на страхову галузь.

У сфері охорони здоров'я в Україні спостерігається ціла низка негативних тенденцій.

З одного боку, потреба населення у медичній допомозі не зменшилась; рівень захворюваності населення не знижується; спостерігаються небезпечні тенденції зростання таких захворювань, як гіпертонічна хвороба, інфаркт, рак, зростання санітарно-епідемічного неблагополуччя (туберкульоз) поява нових хвороб (ВІЛ-

інфекція). Разом з тим, поява нових технологій лікування та нових видів ліків призвели до збільшення реальної вартості медичної допомоги.

З іншого боку, бюджетне фінансування галузі скоротилося у 7 разів порівняно з 1991 р. Сьогодні вже можна стверджувати, що внутрішніх резервів для відтворення наявної галузевої інфраструктури фактично більше немає.

У цих умовах дефіцит коштів вимушено компенсується тіншовими платежами населення. Ці платежі є невпорядкованими, вони не забезпечують підтримки і розвитку галузевої інфраструктури. Якщо держава не розпочне реформи у сфері охорони здоров'я, у найближчому майбутньому слід очікувати:

- зниження реальної доступності медичної допомоги для більшості населення і відповідного посилення невдоволення ситуацією у сфері медицини;
- зношення основних фондів і зниження функціонального потенціалу мережі лікувальних закладів;
- збільшення обсягу тіншового ринку, у результаті чого легальний приватний сектор (орієнтований на задоволення індивідуальних потреб платоспроможної частини населення) не отримує стимулів для свого розвитку.

Сьогодні стає очевидним, що негативні тенденції останніх років не можна розглядати як тимчасові труднощі – вони є проявом системної кризи сфери охорони здоров'я, її суть полягає у тому, що модель організації системи охорони здоров'я, яку отримала Україна у спадок від СРСР, увійшла в суперечність з новими соціально-економічними умовами життя країни.

Необхідність реформи у сфері охорони здоров'я є першочерговою. Проблема полягає у тому, щоб здійснити правильний вибір реформування. Проте послідовна реформа не може бути здійснена методом «залатування дірок» –

в її основі повинна лежати цілісна модель організації системи медичної допомоги, яка була б перспективною з огляду на світові тенденції розвитку системи охорони здоров'я та, разом з тим, була б реалістичною, адекватною соціально-економічним можливостям України.

Поставлені вище завдання можна вирішити шляхом створення нових форм співучасті працівників залізничного транспорту в оплаті медичної допомоги. Питання полягає в тому, на яких засадах є припустимим зробити цей крок? Додаткове залучення працівників залізничного транспорту до оплати медичної допомоги буде виправданим лише за умови, що воно буде супроводжуватися змінами у їх правах: можливістю впливати на умови та якість надання медичної допомоги. З цього погляду, сутність реформи полягає не тільки і не стільки у зміні медичних технологій, а у зміні відносин між основними суб'єктами у сфері галузевої охорони здоров'я.

Для того щоб реформа галузевої системи охорони здоров'я була успішною, вона має відповідати загальним зрушенням суспільно-державних відносин у сучасній Україні. Суть запропонованого варіанта реформування системи охорони здоров'я на залізничному транспорті полягає в тому, що:

По-перше, ми формуємо новий суб'єкт відносин у сфері охорони здоров'я – страхову компанію.

По-друге, держава та підприємства залізничного транспорту не відмовляються від своїх зобов'язань забезпечувати своєчасну якісну медичну допомогу залізничникам та членам їх сімей, при цьому Укрзалізниця організує участь на паях у фінансуванні витрат на систему медичної допомоги. Страхові компанії забезпечують додаткові солідарні механізми.

По-третє, виникнення нового суб'єкта відносин у сфері охорони здоров'я створює умови для клієнто-орієнтованості системи охорони здоров'я. Це завдання, як одне з основних, намагаються зараз вирішити організатори системи охорони здоров'я у розвинених заможних країнах. Таким чином, ми опиняємося у руслі основних світових тенденцій розвитку систем охорони здоров'я.

По-четверте, державно-корпоративна форма організації системи медичної допомоги повинна бути доповнена механізмами залучення приватних коштів для задоволення індивідуального попиту на медичні послуги.

Таким чином, запропонований варіант реформування системи охорони здоров'я на залізничному транспорті має спиратися на державно-корпоративну модель.

Державно-корпоративна модель системи охорони здоров'я на залізничному транспорті, що пропонується, покликана вирішити три основні завдання:

1. Забезпечити гарантований державою рівень безоплатної медичної допомоги для працівників залізничного транспорту.

2. Створити умови та механізми для задоволення індивідуального попиту і потреб пацієнтів, що виходять за межі гарантованого державою рівня.

3. Забезпечити підвищення ефективності системи охорони здоров'я на залізничному транспорті. Ось деякі з найважливіших пропозицій подолання труднощів у галузі:

- впорядкувати страхове законодавство;
- досягнення оптимальної структури між різними формами страхування;
- залучення коштів страхових фондів на потреби інвестиційних вкладень;
- створення об'єднань страховиків із метою зміцнення їх фінансового становища;
- підвищити рівень капіталізації підприємств, запровадити реальні заходи, які б знизили можливість для корупції та бюрократичних перепон;
- розробити ефективні механізми захисту страхувальників.

У системі заходів щодо поліпшення соціальної захищеності громадян важливе місце посідає забезпечення їм можливості одержати необхідну, своєчасну та якісну медичну допомогу. Світовий досвід показує, що напрямки вирішення цієї проблеми можуть бути різні. Загалом вони відрізняються структурою джерел фінансування охорони здоров'я й організацією надання медичних послуг.

Організація охорони здоров'я, яка забезпечує право кожного громадянина на одержання медичної допомоги, може бути забезпечена системою страхової медицини. За допомогою страхової медицини вирішується питання гарантованості і доступності медичних послуг для широких верств населення, залучення додаткових ресурсів у сфері охорони здоров'я. Важливим елементом системи страхової медицини є медичне страхування. У статі 49 Конституції України записано: «Кожен має право на охорону здоров'я, медичну допомогу та медичне страхування».

Медичне страхування передбачає страхування на випадок втрати здоров'я з будь-якої причини. Об'єктом медичного страхування є життя і здоров'я громадян. Мета його проведення полягає в забезпеченні громадянам у разі виникнення страхового випадку можливості одержання медичної допомоги за рахунок накопичених коштів і фінансування профілактичних заходів. Медичне страхування можна провадити в обов'язковій і добровільній формі.

Усі ми, юні і статечні, щасливі та не дуже, заклопотані та не вельми обтяжені зайвими турботами, так чи інакше час від часу набуваємо статусу, що стирає усі ці відмінності між нами і здатен зробити друзями на усе життя людей, чий життєвий шлях по іншому ніколи б і не перетнувся – статус пасажира.

Залізниця – це свого роду модель держави. Правда в цій моделі, на наше з вами щастя, набагато більше дисципліни, порядку і відповідальності, а головне – вболівання за спільну справу, ніж ми вкладаємо в це поняття. Адже більшість з тих, хто тут працює, вирізняє не тільки високий рівень фахових знань, а й вміння приймати неординарні рішення...

Залізничник – це не професія. Це – стиль життя, це – стан душі. Тут не буває випадкових людей. Проте, якщо уже полюбив цю роботу, то назавжди. Без жалю використовуючи свій життєвий ресурс, ці люди, як ніхто інший навчилися цінувати і любити життя людини, зокрема, незалежно від того, чи ідеться про життя близьких чи зовсім незнайомих людей.

У чому таємниця такої життєздатності та незмінної популярності залізниці? Очевидно, хоч можливо, це і звучить парадоксально – в готовності змінюватись у ногу з часом... Адже, якщо ви пасажир зі стажем, то напевно зауважили, що з роками дуже змінюються не лише фасади та інфраструктура вокзалів, не лише переходять на новий рівень комфорт і культура обслуговування в самих поїздах, а й ціна придбаного квитка уже включає страховий збір, тобто залізниця ще й бере на себе відповідальність за вашу безпеку... Основним потенціалом і найбільшим скарбом залізниці, яка веде початок своєї історії з давніх-давен, це не рухомий склад, і не чисельні споруди, і навіть не мережа колій, будівництво яке обходиться залізниці найдорожче, а люди.

Вітчизняна система охорони здоров'я потребує реформування. Одним з елементів такої реформи, може стати запровадження в Україні обов'язкового медичного страхування відповідно до ст.7 Закону України «Про страхування» шляхом прийняття відповідної Постанови Кабінету Міністрів України або запровадження системи загальнообов'язкового державного медичного страхування, що має бути закріплене відповідним законодавчим актом. Проте Закон «Про загальнообов'язкове державне соціальне медичне страхування» Верховна Рада України до цього часу так і не прийняла. Водночас в Україні є досвід впровадження Програми медичне страхування, реалізованої Укрзалізницею та страховою

компанією «Інтер Транс Поліс», якою на той час було застраховано близько 750 тис. осіб. Його варто враховувати у разі створення системи медичного страхування як в окремих галузях, так і на державному рівні.

У 1993 р. страхова компанія «Інтер Транс Поліс» почала спеціалізуватися на особистих видах страхування. З 2000 р. медичне страхування як соціально важливий вид було відокремлене і ним продовжила займатися нова страхова компанія «Інтер Транс Поліс». З того моменту питання медичного страхування набуло значного динамічного розвитку та стало пріоритетним. Генеральним партнером у реалізації програм медичного страхування є Укрзалізниця (застраховано понад 600 000 осіб).

Медичне страхування є невід'ємною складовою розвитку системи соціального захисту працівників та пенсіонерів українських залізниць (а в подальшому, можливо, і членів їх сімей), яка зараз реалізується. На думку профспілок, це одна із найбільших галузевих пільг. Її основною метою є створення ефективної та максимально прийнятної у фінансовому плані системи медичного обслуговування працівників залізничної галузі, яка б враховувала державні тенденції щодо запровадження системи загальнообов'язкового державного соціального медичного страхування, не входячи у протиріччя з цілою низкою особливостей медичного забезпечення працівників Укрзалізниці.

Страхова компанія укладає з залізницями та підприємствами залізничного транспорту генеральні договори медичного страхування залізничників та пенсіонерів галузі. Річний страховий внесок становить 48...96 грн, тобто усього 4...8 грн з особи на місяць. Завдяки зваженій економічній складовій Програми медичного страхування працівників та пенсіонерів залізничної галузі, розмір страхових внесків залишається не змінним.

За рахунок масовості таких внесків стало можливо акумулювання коштів, що використовуються для надання медичної допомоги тим застрахованим особам, які потребують стаціонарної допомоги. Кожному застрахованому працівнику залізничної галузі видається страхове посвідчення, для застрахованих пенсіонерів введені іменні «Посвідчення застрахованого пенсіонера залізничного транспорту». Ці документи підтверджують їх право отримати медичну допомогу в стаціонарних відділеннях медичних закладів Укрзалізниці. Водночас додаткове забезпечення медикаментами та продуктами харчування, у межах граничних сум страхового відшкодування надається під час окремого випадку госпіталізації.

Страховим випадком вважається факт звернення застрахованого залізничника або пенсіонера до медичного закладу та отримання ним стаціонарної медичної допомоги. Страхова компанія відшкодовує медичному закладу вартість використаних для стаціонарного лікування застрахованої особи медикаментів, виробів медичного призначення та продуктів харчування, що перевищує витрати, передбачені бюджетним фінансуванням (в межах суми індивідуального річного страхового ліміту).

З точки зору фінансового забезпечення реалізації Програми викликає інтерес розробка фахівцями лікувально-профілактичних закладів Укрзалізниці та нашої компанії галузевих медико-економічних стандартів (МЕС), які є важливим елементом медичного страхування. Медико-економічні стандарти визначають обсяги, методи та строки лікування, критерії якості, гарантії стандартів лікування і профілактичних заходів, а також вартість послуг. Тобто МЕС – це своєрідні «протоколи» лікування, які, окрім якості використання коштів страхового відшкодування у медичних закладах запроваджено «Протоколи лікування», у яких зазначають фактичні витрати на лікування конкретного хворого та їх фактичну вартість (форма 1Д).

Передбачено запровадження системи обов'язкового медичного страхування на усіх підприємствах та у підрозділах міністерства з урахуванням досвіду реалізації відповідної Програми на підприємствах та у підрозділах Укрзалізниці. Грошові внески з обов'язкового страхування здійснює роботодавець застрахованої особи. Реалізація цього експерименту дозволить не тільки підвищити рівень медичного обслуговування застрахованих осіб, але й зробити попередні прогнози щодо вибору оптимальної методики запровадження системи обов'язкового медичного страхування в Україні та позитивно вплинути на створення сприятливих умов для усіх учасників страхового процесу. До того ж це допоможе визначити поле діяльності страхових компаній у системі обов'язкового медичного страхування, а у разі отримання позитивних результатів – доведе ефективність їх роботи.

В умовах дефіциту коштів державного бюджету з введенням медичного страхування відбулися певні позитивні зміни у системі фінансування медичних закладів залізниці, що сприяло покращенню медичної допомоги застрахованим залізничникам та пенсіонерам залізниці та забезпеченню медичних закладів необхідними медикаментами, продуктами харчування та м'яким інвентарем.

Підсумки роботи медичних закладів залізниці у 2002 р. і 1-му кварталі 2003 р. з виконання програми медичного страхування залізничників та пенсіонерів такі:

За 2002 р. страховою компанією перераховано коштів медичним закладам за пролікованих залізничників у сумі 2 882, 9 тис. грн та за пролікованих застрахованих пенсіонерів 864,9 тис. грн, всього 3 752,8 тис. грн за виставленими рахунками на суму 4 106,8 тис. грн. За 2002 р. проліковано залізничників – 15 379 чол. і пенсіонерів залізничного транспорту 5 060 чол.; всього 20 445 чол. Відповідно за 1-й квартал 2003 р. медичними закладами отримано коштів від страхової компанії на суму 6 937 тис. грн і отримано медикаментів на суму 199, 8 тис. грн, всього 893,5 тис. грн.

З 2003 р. запроваджено персоніфіковане фінансування медичної допомоги саме застрахованих осіб, тобто медичні заклади отримують фінансування, яке залежить від обсягу виконаних робіт (наданих послуг застрахованим особам), а не від ліжкового фонду медичного закладу.

Разом з тим, діюча система медичного страхування виявляє певні проблеми та недоліки:

1. Запровадження з 2003р. звітності про використання медикаментів на кожного хворого згідно з протоколами лікування застрахованого надає можливість підвищити контроль за використанням медикаментів адресно на кожного застрахованого хворого, але вимагає збільшення роботи працівників медичних закладів, які зайняті обліком і звітністю по страховій медицині, зокрема, старших медсестер, економістів лікарень.

Нові страхові програми, нові угоди з страховою компанією «Інтер Транс Поліс» впроваджується без чітких технологій медичного страхування за відсутністю програмного забезпечення. Медзакладам необхідні додаткові кошти на забезпечення усіх програм, а також для запровадження бухгалтерського обліку в медичних закладах у розрізі джерел надходження і, зокрема, забезпечення чіткого розмежування витрат згідно з джерелами надходження (від страхової компанії, фінансова допомога залізниці, кошти державного бюджету, кошти отримані від страхової компанії за застрахованих не залізничників тощо).

2. Внесення змін до договорів щодо права медичного закладу використовувати до 5 % сум страхових виплат за ведення медичного страхування та матеріальну винагороду працівникам медичних закладів, які задіяні в обслуговуванні застрахованих осіб, суперечить чинному законодавству і практично не може бути реалізованим без порушень законодавства України.

Держказначейства не дозволяють медзакладам, які виконують цю роботу, використовувати кошти медичного страхування на оплату праці або матеріальну винагороду працівникам медзакладів. Крім того, це призведе до зниження адресної допомоги застрахованому хворому, що також іде в супереч чинному законодавству.

Виходячи з сказаного, пропонуємо передбачити в умовах договорів з страховою компанією пункт, який вводить оплату праці категоріям працівників медзакладів, задіяних у лікуванні застрахованих осіб за додаткові кошти, отримані від страхової компанії.

3. У зв'язку з укладанням угод страхування пенсіонерів залізничного транспорту, які надають право двох стаціонарних госпіталізацій протягом року, в медичних закладах збільшується потік хворих застрахованих пенсіонерів – залізничників без належної потреби в стаціонарному лікуванні та при можливості повноцінного амбулаторного лікування.

Вважаємо доцільним розширення та доповнення існуючих програм амбулаторного лікування.

4. На цей час гостро стоїть проблема страхування самих медичних працівників та пенсіонерів – медиків. Особливо, від останніх збільшився потік скарг на відсутність медичного страхування. Колективи чотирьох медичних закладів (Вузлова лікарня станції Коломия, Відділкові клінічна лікарня станції Ужгород, Дорожня стоматологічна поліклініка станції Львів, Відділкові стоматологічна поліклініка станції Ужгород) уклали Генеральні угоди медичного страхування за власні кошти.

Необхідно відзначити що перші кроки з реалізації Програми страхування працівників та пенсіонерів залізничної галузі було здійснено на базі медичних закладів Південно-Західної, Львівської та Донецької залізниць, і лише після отримання достовірних позитивних результатів систему медичного страхування було запроваджено в інших лікувально-профілактичних закладах Укрзалізниці. Це підтверджує доцільність проведення реформування системи охорони здоров'я України методом «Малих кроків», коли нововведення спочатку торкаються певної частини.

Програма має яскраво виражений соціальний характер і спрямування на підвищення соціальної захищеності працівників залізничного транспорту.

Станом на 01.11.2004 р. на залізниці було застраховано: працівників – 66 937 тис. чол.; пенсіонерів – 35 202 тис. чол.; всього – 102 139 тис. чол. Таким чином, експеримент з медичного страхування в залізничній галузі довів, по-перше, свою актуальність, дієвість і своєчасність запровадження; по-друге, логічну необхідність продовжувати та розвивати його; по-третє, необхідність аналізу накопиченого під час реалізації Програми досвіду з медичного страхування значної кількості населення. Використання отриманих даних може стати у нагоді під час підготовки закону «Про медичне страхування населення».

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України Про внесення змін до Закону України «Про страхування».
2. Базилевич В. Д. Страхова справа. 3-є вид., перероб. і доп. / В. Д. Базилевич, К. С. Базилевич. – К.: Знання, КОО, 2003. – 250 с.
3. Заруба О. Д. Страхова справа. – К., 2000.
4. Басков М. И. Страховое дело в вопросах и ответах: Учебное пособие для студентов экономических вузов и колледжей. 1999. – 564 с.
5. Ердманіс Д. Ф. Світовий досвід та концептуальні моделі страхової медицини / Д. Ф. Ердманіс, С. Л. Няньковський, О. Я. Ладний и др. – Львів, 1992. – 75 с.
6. Шаповал В.М., Єфименко Т.І. Перспективи розвитку медичного страхування в Україні // Економіка: проблеми теорії та практики. – 2001. – Вип. 112. – С. 111–117.
7. Мотов А. І. Охрана здоров'я работников приднепровської магістралі / А. І. Мотов, А. М. Удовичський // Медицина залізничного транспорту України. – 2002. – № 2. – С. 5–6.
8. Кісельов Є. М. Впровадження медичного страхування у систему охорони здоров'я працівників залізничного транспорту України / Є. М. Кісельов, С. В. Бурлаєнко, В. В. Свиридюк и др. – 2002. – № 2. – С. 7–10.
9. Антонюк І. Л. Страхування потребує «лікування» // Магістраль. – 2005. – № 7. – С. 6.
10. Габріель Л. А. Львівська залізниця: держава якої не знайти на карті // Магістраль – 2005. – № 33(1010) – С. 17.
11. Теслюк Т. Г. Чи виживе залізнична медицина? // Магістраль – 2005. – № 7. – С. 6.

Надійшла до редколегії 19.10.2005.

О. Г. ХАРЧУК (Київський університет економіки та технологій транспорту)

ЗАРУБІЖНИЙ ТА ВІТЧИЗНЯНИЙ ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Збереження потенціалу залізничної системи України і її ролі як базової соціально-економічної системи України, зміцнення її позицій на ринку транспортних послуг і гармонійної інтеграції в Трансевропейську транспортну мережу можливе за допомогою подальшого розвитку автоматизації управління в логістиці, інтеграції нових автоматизованих систем та інформаційної підтримки виробничих процесів на підприємствах залізничного транспорту та залізничного комплексу України в цілому.

Сохранение потенциала железнодорожной системы Украины и ее роли как базовой социально-экономической системы Украины, укрепление ее позиций на рынке транспортных услуг и гармоничной интеграции в Трансевропейскую транспортную систему возможно только с помощью дальнейшего развития автоматизации управления в логистике, интеграции новых автоматизированных систем и информационной поддержки производственных процессов на предприятиях железнодорожного транспорта и железнодорожного комплекса Украины в целом.

Preservation of the potential of Ukraine's railway system and its role as the basic socio-economic system of Ukraine, consolidation of its positions on the market of transport services and integration into the Paneuropean transport system will be possible only with the help of further development of management automation in logistics, integration of new automates systems and informational support of the production processes in the railway enterprises and the railway complex of Ukraine as a whole.

Економічний прогрес залізничного транспорту України став могутнім каталізатором відродження вітчизняного машинобудування. Приріст продукції в машинобудуванні у 2003 р. по відношенню до 2002 р. досяг 35,8 %. Обсяги виробництва на підприємствах транспортного машинобудування виросли у 2003 р. на 62,1 %, а в залізничному машинобудуванні – на 72,2 % порівняно з 2002 р.

Придбання практичного досвіду в розвитку логістичних систем – реальний крок в процесі інтеграції залізничного транспорту України в європейську і світову транспортні мережі. Європейська комісія проводить велику роботу в області створення єдиної системи автоматизованого керування і контролю руху потягів і загальної сучасної системи цифрового радіозв'язку на базі стандарту GSM-R, який враховує специфічні вимоги залізничного транспорту. По рекомендації Європейської комісії 30 % інвестицій в розвиток транспортної інфраструктури необхідно спрямувати на створення і впровадження єдиної європейської системи автоматизованого керування рухом потягів ETCS.

У даний час на залізницях 24 європейських країн діють 18 систем автоматичного блокування. Як основний напрям автоматизації керування рухом потягів в ЄС прийнято використання мобільного цифрового радіозв'язку, який значною мірою може замінити рейкові ланцюги, транспондери та електромагніти.

Актуальні питання інформатизації і автоматизації в логістиці систематично обговорюються на наукових семінарах і симпозіумах. У вересні 2003 р. в Дортмунде (Німеччина) Інститут матеріальних потоків і логістики ім. Фраунгофера організував 21-й традиційний Дортмундський науково-практичний симпозіум по логістиці, центральна тема якого була присвячена проектуванню, організації і технічним засобам для систем матеріальних потоків. Значну увагу було надано питанням використання Інтернет-технологій в бізнесі і логістиці. На симпозіумі була підкреслена ефективність модернізації в логістиці і, зокрема, модернізації високотелажних складів на основі сучасних засобів автоматизації і керування.

В Інституті матеріальних потоків і логістики ім. Фраунгофера (Дортмунд, Німеччина) з участю інших науково-дослідних інститутів виконана комплексна науково-дослідна робота в області розвитку логістики з урахуванням істотного розширення круга задач, які вирішуються в процесі організації матеріально-технічного постачання і збуту продукції. Також побудована загальна модель задач логістики, розроблений проект комплексного зовнішнього логістичного обслуговування LiNet на основі сучасних інформаційних технологій.

В Інституті виробничих і логістичних систем (IPL, Німеччина) виконана велика науково-дослідна робота, в якій були розглянуті питання упровадження інформаційних технологій в логістиці (E-Business). У роботі показана можливість поєднання пристроїв децентралізованого керування в логістиці із створенням єдиних інформаційних систем, які об'єднують на єдиній базі постачальників, виробників і замовників та створюють основу для ефективного застосування інформаційних технологій. При цьому в рамках підприємств і структур, з'єднаних такою інформаційною системою, можуть упроваджуватися найсучасніші технології, наприклад, технологія безпаперового комплектування замовлень, логістична система керування виробництвом за принципом витягування, відома як система Kanban, що забезпечує гнучкість системи та ін.

Останнім часом спостерігається подальший розвиток автоматизації керування в логістиці все з більшою мірою інтеграції створюваних автоматизованих систем, які включають всі питання матеріально-технічного постачання, керування запасами, замовленнями та ін. Також упроваджуються нові технології складських робіт.

На сучасному етапі розвитку логістики діють дві основні тенденції: об'єднання логістичних функцій в єдиний пакет і упровадження інформаційних технологій з використанням мережі Інтернет. Успішно в цьому напрямі працює, наприклад, концерн DHL, який займає провідне положення в Німеччині і охоплює більше 16 % європейського ринку. Структури концерну широко використовують електронну технологію B2C (бізнес – кінцевий споживач). Наприклад, фірма DHL Fulfilment виконує повне логістичне обслуговування компанії Tchibo з використанням власних складів, логістичних центрів і збуту продукції компанії кінцевим споживачам, тобто виконує весь комплекс логістичних послуг в єдиному пакеті за технологією B2C.

Фірма Schwarzkopf & Henkel Productson Europe спільно з своїми постачальниками упровадила технологію поставок «точно в строк», що дозволило фірмі зменшити складські запаси на 40 %, з 15 млн євро у 2000 р. до 9,4 млн євро у 2002 р. Організація матеріально-технічного постачання за новою технологією провадиться на основі пакету програм SAP, керівника матеріальними ресурсами фірми.

Фірма Siemens Dematik реалізувала концепцію автоматизації в логістичному центрі фірми Gambro Dasco (Італія), яка включає також автоматичну транспортну систему з використан-

ням напільних візків, які працюють без водіїв, для транспортного зв'язку логістичного центру з виробництвом. Щодня транспортуються в цій системі більше 900 піддонів. В автоматичному складі логістичного центру є 25 200 місць для піддонів з вантажем. Один піддон може мати масу в навантаженому стані 600...1 000 кг при висоті завантаження до 1, 1,2, 1,8 м. Передбачено дві ділянки комплектування замовлень.

На залізницях Німеччини провадиться систематична робота із створення сучасних автоматизованих систем на основі новітніх інформаційних технологій. Значний обсяг робіт в цій області виконує фірма DB System GmbH. Користувачами таких систем є DB Regio, DB Cargo, DB Reise & Touristik, а також залізниці, які не входять в систему концерну Deutsche Bahn AG, наприклад, портова залізниця Гамбурга (Hafenbahn).

Створювані системи і підсистеми покликані забезпечити автоматизоване керування і інформаційну підтримку планування, реалізації, контролю і розрахунків виробничого процесу на залізничному транспорті, маючи на увазі під таким процесом організацію перевезень вантажів і пасажирів. У числі таких систем, наприклад, система PPSFR для складання графіка руху пасажирських потягів в дальньому і місцевому сполученнях, система DIF для забезпечення плану формування і графіка руху потягів з урахуванням реального місцезнаходження рухомого складу, система SVM для збору даних про стан рухомого складу з використанням мобільних технічних пристроїв для збору і передачі даних підприємствам, які забезпечують технічне обслуговування і ремонт та інші системи.

Ще в 1999 р. на залізничному транспорті Німеччини було вирішено упровадити мобільний радіозв'язок на основі стандарту GSM з дотриманням додаткових спеціальних вимог, які визначає специфіка експлуатації залізничного транспорту, особливо з урахуванням швидкісного руху потягів класу ICE. Прийнята система цифрового мобільного радіозв'язку GSM-R відзначається від інших більш високою швидкістю виклику, можливістю групового виборчого виклику, високим ступенем надійності та ін. Якщо для звичайного мобільного зв'язку стандарту GSM для виклику абонента потрібно приблизно 5 с, то для GSM-R ця тривалість зменшена до 2 с.

При цьому мається на увазі, що потяг класу ICE за 1 с проходить шлях 83 м при розрахунковій швидкості руху 300 км/год. До 2005 р. у Німеччині мережа мобільного радіозв'язку GSM-R охоплювала мережу залізниць протяжністю 24 500 км.

У нашій країні відбувся форум фахівців по логістиці транспорту, де розглядався ринок послуг комплексних транспортних систем і прикладні проблеми логістики, а також ефективні способи їх рішення. В його роботі взяли участь понад 50 фахівці-транспортників, і був розглянутий ряд важливих питань. Наприклад, в своєму виступі п. Воркута А.И. вів мову про проблеми формування раціональних логістичних систем і їх кадрового забезпечення в умовах перехідної економіки. Згідно з останнім уточненим визначенням Ради з логістичного управління (США) логістика, на його думку, є тією частиною процесів ланцюгів поставки, що забезпечує планування, реалізацію і контроль економічного, ефективного переміщення і накопичення товарів, послуг, а також зв'язаної інформації від місця виникнення до місця споживання з метою задоволення вимог споживачів. У своєму виступі п. Петрашевський визначив так головну ціль: усвідомити власний довід, ознайомитися із зарубіжними зразками і, зрештою, зробити краще.

Сучасний етап розвитку логістичних концепцій в Україні характеризується загальним осмисленням закордонного досвіду. З'явилися численні публікації і навчальні посібники, які в своїй основі часто повторюють відповідні закордонні публікації. Але істотним недоліком є відсутність прив'язки в публікаціях до вітчизняних умов і осмислення досвіду фірм в нових умовах. Багато існує напрацювань у минулому з теорії інтегрованих систем і численних прикладів, які заслуговують на увагу. Конкретні особливості економіки нашої країни часто диктують формування в рамках загальної концепції різних логістичних систем. Тому актуальним на цей час слід вважати не тільки загальне в різних логістичних підходах і освітлення зарубіжних результатів, а в першу чергу, постановку задач для творчого розгляду, збір і узагальнення перших нових результатів, їх порівняння з кращими зарубіжними аналогами.

Залізницями України розроблений ряд перспективних програм, спрямованих на підвищення ефективності роботи, упровадження нових технологій і забезпечення конкурентоспроможності залізничних послуг. В їх числі найважливішими є: організація швидкісного руху на головних магістралях України (до 200 км/год); розвиток телекомунікацій і розробка на їх основі сучасних технологій; розвиток транспортних коридорів і залучення транзитних вантажів; розробка вітчизняних технічних засобів залізничного транспорту і т. д. Деякі роботи в рамках програми

вже виконані і є істотний результат: завершений капітальний ремонт колії і встановлені швидкості руху пасажирських потягів 140...160 км/год в напрямках міжнародних транспортних коридорів – МТК № 3, 9. Час руху пасажирських потягів скорочено на 1,5...2 год.

Робота, що провадиться Укрзалізницею щодо створення швидкісної залізничної мережі, набуває особливого значення в контексті Директиви 96/48 Євросоюзу, яка торкається розвитку і вдосконалення взаємодії залізничних систем трансєвропейських високошвидкісних магістралей. Розвиток телекомунікацій здійснюється за допомогою упровадження цифрових систем комутації і відображення буквенно-цифрової інформації, цифрових АТС, будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку. Вивчається можливість застосування на залізничному транспорті системи цифрового радіозв'язку С-8М-К, а в області автоматики і телемеханіки – це упровадження нових мікропроцесорних і релейно-мікропроцесорних систем керування рухом потягів. Також провадяться роботи із створення галузевої автоматизованої системи керування електричними мережами із забезпеченням комерційного обліку і аналізу енергоспоживання.

В умовах глобалізації створення крупних транснаціональних корпорацій і інтеграції транспорту ряду держав в світову транспортну систему йде інтенсивний процес формування міжнародних транспортних коридорів, які забезпечують прискорене просування великих товароматеріальних потоків між різними країнами і континентами на основі упровадження сучасних логістичних технологій доставки вантажів.

Основним напрямом вдосконалення транспортних технологій у сфері вантажопотоків є інтеграція виробничих і транспортних процесів на принципах транспортної логістики. Наприклад, Міністерство транспорту та зв'язку України вважає розвиток комбінованих і контрейлерних перевезень пріоритетним напрямом в своїй діяльності, яке має стратегічне значення для інтеграції України в світову транспортну систему. Контейнерні перевезення з Китаю транзитом по залізницях Казахстану, Росії, України і далі в країни Європи є одним з основних, перспективних напрямів транспортування вантажів між Азією і Європою. Створення сприятливих умов перевезення контейнерів (швидкість доставки, збереження, вартість) цим маршрутом дозволить створити значну конкуренцію морському транспорту. Наприклад, вантажопотоки, з Китаю і Дальнього Сходу до Європи, здійснюються не морським, а, переважно, залі-

зничним транспортом, оскільки термін доставки з 40...44 днів скорочується до 14...15 діб, при цьому підвищується регулярність і безпека перевезень, і головне – значна економія коштів за рахунок прискорення обороту капіталу.

У світовій практиці простежується неухильна тенденція вдосконалення технології вантажних перевезень, пов'язана з концентрацією транспортних потоків і зростанням контейнерних перевезень по інтермодальним транспортним коридорам, які повинні стати основою єдиної глобальної транспортної мережі нинішнього століття; її створіння і функціонування є однією з головних задач євразійської транспортної політики. У Західній і Центральній Європі, де комунікації більш розвинуті в порівнянні з країнами Східної Азії, формування базової системи транспортних коридорів вже, в основному, завершилося.

Оскільки залізничний транспорт є складною виробничою системою, багатогранність його діяльності не дозволяє оцінити якість роботи будь-якого підприємства контролем виконання лише однієї функції. Тому повинна бути створена відповідна система якості, яка дозволяла б оцінювати технічний, людський і вартісний чинники, які сприятимуть підвищенню ефективності роботи підприємств. За кордоном підвищення якості обслуговування клієнтів забезпечується на основі довгострокових програм «Постійне підвищення якості» (ППЯ). Такі програми складаються для кожного підприємства залізничного транспорту. Вони не тільки сприяють підвищенню конкурентоспроможності, але і поліпшують фінансове положення підприємств і галузі в цілому. У системі якості велику увагу слід надати вдосконаленню технологічних процесів на підприємстві, що розробляється на основі логістичних принципів, і встановленню порядку їх виконання, що забезпечує безперервність процесу.

Останнім часом зростає інтерес до автоматизованого переходу вагонів, тобто запровадження технології переведення вагонів з колії одного стандарту на колію іншого стандарту в автоматичному режимі з використанням так званих розсувних колісних пар (РКП). Впровадження їх стримувалося складністю конструкцій і вимагало значних витрат на технічне обслуговування. Практичне застосування РКП розпочато в 1969 р., коли з Барселони до Женеви прибув перший поїзд системи Talgo RD. У цей час фірмою «Talگو» пропонується нове технічне рішення розсування коліс стосовно візків

вантажних вагонів. Такі колісні пари встановлюються у візках типу В21, аналогічних візкам У25, що є стандартними для вантажних вагонів колії 1 435 мм.

За пропозицією інженера Н. Гайдарова, у Болгарії були розроблені розсувні колісні пари оригінальної конструкції для візків типу В25. Львівською залізницею було придбано 10 таких візків для обладнання п'ятивагонної рефрижераторної секції і проведено комплексні дослідження працездатності візків і їхніх вузлів в умовах тривалої експлуатації.

Можливості застосування розсувних колісних пар вивчаються в Японії, Росії та інших країнах. Нині, крім іспанської системи Talgo, для міжнародних пасажирських сполучень застосовуються РКП конструкції доктора Р. Сувальського (Польща), так звана система SUW2000, яка призначена як для пасажирських, так і для вантажних вагонів.

Вагони, обладнані РКП даної системи, переходять з однієї колії на іншу за лічені секунди проїздом через колісперевідний пристрій довжиною 27 м із швидкістю руху до 30 км/год. При цьому не потрібно розвантажувати колеса, як цього вимагає, наприклад, система Talgo. Система SU W2000 дозволяє отримувати три різні відстані між колесами – 1435/1, 520/1, 668 мм, забезпечувати максимальну швидкість руху 120 км/год при навантаженні на вісь 200...225 кН і 160 км/год – при навантаженні 160 кН.

У нашій країні у квітні 2000 р. поїзд, що складався із трьох пасажирських і трьох вантажних вагонів типу схід-захід, обладнаних ходовими частинами з РКП системи SUW2000, здійснив презентаційний рейс від ст. Замосць (Польща) до ст. Ковель Львівської залізниці. З грудня 2000 р. у піднаглядовій експлуатації знаходиться пасажирський поїзд Варшава-Вільнюс.

Незважаючи на значне відставання від більшості європейських країн в області інтермодальних перевезень, Україна, все ж таки, намагається вирішувати ці проблеми. Від рівня розвитку в Україні системи перевезень вантажів у вирішальному ступені залежить збільшення зовнішньоторговельного і внутрішнього вантажообороту, зростання експортно-імпорتنних перевезень вантажів, підвищення конкурентоспроможності національної і регіональної транспортних систем, входження транспортного комплексу України в світову транспортну систему.

Головний принцип подальшого існування залізничного транспорту України – це збереження потенціалу національної залізничної си-

стеми і її ролі як базової соціально-економічної системи України, зміцнення її позицій на ринку транспортних послуг і гармонійної інтеграції в Трансєвропейську транспортну мережу.

Поглиблення інтеграційних процесів у сфері транспорту природним чином буде сприяти затвердженню в східній частині Європейського континенту зони стабільного соціально-економічного розвитку і високих темпів зростання економіки України і нового розширеного Євросоюзу.

Мережна системна взаємодія національних транспортних систем в рамках ЄС і України, поза сумнівом, сприятиме посиленню ролі загальноєвропейської залізничної мережі в економіці розширеної Європи та розвитку Європейської співдружності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Стратегічні перспективи реформ. Науково-практична конференція «Стратегія стійкого розвитку і структурно-інноваційної перебудови української економіки (2004–2015)» // Уряд. кур'єр. – 28 квітня 2004 р. – № 80. – С. 5–10.
2. Економіка України за січень-березень 2004 року // Уряд. кур'єр. – 27 квітня 2004г. – № 79. – С. 8.
3. Кірпа Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
4. Europas Bahngesellschaften stricken an der Einheit // VDI-Nachr. – 2003. – № 47. – С. 16. – Нім.
5. Automatische Kommissioniersysteme / Heptner K. // DHFForum. – 2003. – 49, № 1. – С. 18–21. – Нім.

Надійшла до редколегії 11.11.2005.

Наукове видання

В І С Н И К

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

Випуск 11

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерна верстка *Я. І. Заїць*
Коректори *Т. В. Щепоткіна, Т. В. Мацкевич*

Здано до набору 20.03.2006. Підписано до друку 02.06.2006. Формат 60×84 1/8.
Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 24,8.
Обл.-вид. арк. 25,46. Тираж 100 прим. Замовлення № 922. Видавн. № 64.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003